



TESIS - RC142501

ANALISIS PENGARUH VARIASI SEMEN OPC DAN PPC SERTA PENGGUNAAN AGREGAT ALWA BERBAHAN LIMBAH *STYROFOAM* TERHADAP KUAT TEKAN BETON RINGAN

FEDYA DIAJENG ARYANI
NRP. 03111650020007

DOSEN PEMBIMBING :
Prof. Tavio, S.T, M.T, Ph.D.
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

PROGRAM MAGISTER
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS - RC142501

**ANALISIS PENGARUH VARIASI SEMEN OPC DAN PPC
SERTA PENGGUNAAN AGREGAT ALWA BERBAHAN
LIMBAH *STYROFOAM* TERHADAP KUAT TEKAN
BETON RINGAN**

FEDYA DIAJENG ARYANI
NRP. 03111650020007

DOSEN PEMBIMBING :
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

PROGRAM MAGISTER
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS - RC142501

THE INFLUENCE OF VARIOUS OPC AND PPC CEMENTS AND THE USE OF ALWA MADE FROM STYROFOAM WASTE TOWARDS THE COMPRESSIVE STRENGTH OF LIGHTWEIGHT CONCRETE

FEDYA DIAJENG ARYANI
NRP. 03111650020007

DOSEN PEMBIMBING :
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

MAGISTER PROGRAM
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL, ENVIRONMENTAL AND GEO ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Fedya Diajeng Aryani

NRP. 03111650020007

Tanggal Ujian : 20 April 2018

Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh:

1. **Prof. Tawio, S.T., M.T., Ph.D.**

NIP. 197003271997021001

(Pembimbing I)

2. **Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.**

NIP. 195004031976031003

(Pembimbing II)

3. **Bambang Piscesa, S.T., M.T., Ph.D.**

NIP. 198403182008121002

(Penguji)

4. **Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.**

NIP. 198004302005011002

(Penguji)



Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dekan

IDA A Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19750212 199903 2001

ANALISIS PENGARUH VARIASI SEMEN OPC DAN PPC SERTA PENGGUNAAN AGREGAT ALWA BERBAHAN LIMBAH *STYROFOAM* TERHADAP KUAT TEKAN BETON RINGAN

Nama Mahasiswa : Fedya Diajeng Aryani
NRP : 03111650020007
Pembimbing : Prof. Ir Tavio, MT, Ph.D
Co-Supervisor : Prof. Dr. Ir I Gusti Putu Raka, DEA

ABSTRAK

Beton ringan adalah salah satu bahan alternatif pengganti beton konvensional khususnya dalam menghadapi gempa karena memiliki berat volume dibawah 1840 kg/m^3 . Diantara material penyusun beton, yang memiliki massa terbesar yaitu agregat kasar, sehingga untuk membuat beton ringan perlu dilakukan suatu inovasi untuk mengurangi massa pada agregat kasar. Salah satunya adalah membuat (Artificial light weight aggregate) ALWA dengan bahan *styrofoam*.

Pada penelitian ini, *styrofoam* terlebih dahulu dilarutkan menggunakan aseton kemudian dibentuk menyerupai agregat kasar. Selain itu, digunakan dua jenis semen yaitu OPC dan PPC. Adapun komposisi penambahan *styrofoam* yang digunakan kedalam beton yaitu dengan prosentase 0%, 15%, 50% dan 100% dari volume agregat kasar.

Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah yang dihasilkan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya prosentase ALWA yang ditambahkan pada campuran beton. Nilai kuat tekan optimum beton menggunakan campuran semen OPC dengan penambahan 15% 28.06 MPa, nilai kekuatan lentur sebesar 4.52 MPa, nilai modulus elastisitasnya 21496.72 MPa, dan nilai kuat tarik belahnya sebesar 2,66 MPa.

Kata Kunci : Beton ringan, ALWA berbahan *styrofoam*, semen OPC , semen PPC

THE INFLUENCE OF VARIOUS OPC AND PPC CEMENTS AND THE USE OF ALWA MADE FROM STYROFOAM WASTE TOWARDS THE COMPRESSIVE STRENGTH OF LIGHTWEIGHT CONCRETE

Name : Fedya Diajeng Aryani
NRP : 03111650020007
Supervisor : Prof. Ir Tavio, MT, Ph.D
Co-Supervisor : Prof. Dr. Ir I Gusti Putu Raka, DEA

ABSTRACT

Lightweight concrete is one of the alternative materials as the conventional concrete replacement particularly in coping with the earthquake due to it has a weight volume under 1840 kg/m^3 . Among the materials of concrete, the one which has the highest mass refers to the coarse aggregates, so that in order to make the lightweight concrete, it is necessary to make an innovation to reduce the mass on coarse aggregate. One of them is to make ALWA (Artificial light weight aggregate) by using styrofoam as its material.

In this study, Styrofoam was firstly dissolved by using acetone then formed to resemble a coarse aggregate. Besides, two types of cement used were OPC and PPC. As for the additional composition of styrofoam used into the concrete dealt with the percentage of 0%, 15%, 50% and 100% of the coarse aggregate volume.

The result of the study showed that the compressive strength and tensile strength produced were decreased along with the increasing of ALWA percentage added to the concrete mix. The optimum amount of concrete compressive strength using OPC cement mixture with the addition of 15% was 28.06 MPa, flexural strength amounted 4.52 MPa, modulus of elasticity amounted of 21496.72 MPa and tensile strength amounted of 2.66 MPa.

Keywords : Lightweight Concrete, ALWA Made From Styrofoam, OPC, PPC.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul *Analisis Pengaruh Variasi Semen OPC dan PPC serta Penggunaan Agregat ALWA Berbahan Limbah Styrofoam terhadap Kuat Tekan Beton Ringan* seperti yang diharapkan. Tesis ini disusun oleh penulis dalam rangka memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama proses pengerjaan Tesis, penulis mendapatkan banyak bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, Bapak Alm Drs. H. Ahmad Rosidi, ST. dan Ibu Hj. Mariani Hasni, atas segala doa dan kasih sayang serta kepada Kakak, dr. Eko Arya Sandi dan Adik, M. Naufal Aryadi yang juga selalu memberikan doa dan dukungan.
2. Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D. dan Prof Dr. Ir I Gusti Putu Raka, DEA. selaku dosen pembimbing yang dengan sabar dan sepenuh hati membimbing, mengarahkan, dan memberikan saran untuk penulis.
3. Untuk Hilman, terimakasih atas doa, waktu dan dukungan dan pengertiannya.
4. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas ketekunan memberikan ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat.
5. Tim ALWA (kk Meme & kk Dara) yang selalu setia menemani mengambil limbah styrofoam dan membentuknya menyerupai garegat kasar.
6. Geng Cocari (kk meme, kk dara & Santi) yang selalu mau diajakin gendut.
7. Ms kata-kata Adita yang selalu setia menemani disaat penulis kehabisan kata-kata
8. Geng Shyndicate (Rochmi, Stitch (Vita), Elda, Negar, Dimbe dan Oyon) yang selalu menghibur disaat penulis merasa suntuk.

9. Keluarga Besar Angkatan Struktur 2016, kalian keluarga baru yang sangat hebat. Semoga suatu hari nanti kita bisa bertemu dan berkumpul disuasana yang jauh lebih membanggakan.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kesalahan dalam penyusunan Tesis ini, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik agar lebih baik lagi di masa mendatang.

Surabaya, Maret 2018

Fedya Diajeng Aryani

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Beton Ringan	7
2.2 <i>Styrofoam</i>	8
2.3 Semen Portland.....	10
2.3.1 Tipe Semen	10
2.4 Aseton.....	11
2.5 Perbandingan dengan Pengujian Sebelumnya.....	12
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Umum.....	15
3.2 Studi Literatur.....	17
3.3 Pembuatan ALWA	17
3.4 Persiapan Alat dan Bahan.....	17
3.4.1 Alat.....	17
3.4.2 Bahan	18
3.4.2.1 Semen.....	18
3.4.2.2 Agregat Halus/Pasir	18
3.4.2.3 Air	18
3.4.2.4 Agregat Kasar.....	19
3.5 Pengujian Material	19

3.5.1	Semen.....	19
3.5.2	Pasir.....	19
3.5.3	Air.....	22
3.5.4	Agregat Kasar.....	22
3.5.4.1	Pengujian Batu Pecah	22
3.5.4.2	Pengujian ALWA Berbahan <i>Styrofoam</i>	24
3.6	Mix design	26
3.7	Pembuatan Benda Uji	28
3.8	Percobaan Slump	29
3.9	Pengujian Benda Uji	29
3.10	Analisis Hasil Pengujian.....	33
3.11	Kesimpulan	34
BAB 4	HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN	35
4.1	Umum	35
4.2	Hasil Analisis Material	35
4.2.1	Pegujian Semen	35
4.2.1.1	Konsistensi Normal Semen <i>Portland</i> (ASTM C187-04)	35
4.2.1.2	Waktu Mengikat Dan Mengeras Semen (ASTM C191-08) .	38
4.2.1.3	Berat Jenis Semen (ASTM C188-95).....	41
4.2.2	Pengujian Agregat Halus / Pasir.....	41
4.2.2.1	Kadar Air Pasir (ASTM C 566-97 Reapp. 04)	41
4.2.2.2	Berat Jenis Pasir (ASTM C128- 01).....	42
4.2.2.3	Air Resapan Agregat Halus (ASTM C128- 01)	43
4.2.2.4	Berat Volume Agregat Halus (ASTM C29 / 29M – 97)	43
4.2.2.5	Kebersihan Terhadap Bahan Organik (ASTM C40-04).....	44
4.2.2.6	Kadar Lumpur Pasir (ASTM C117-03).....	45
4.2.2.7	Analisis Saringan Pasir (ASTM C136-01)	46
4.2.3	Pengujian Agregat Kasar (Batu Pecah)	47
4.2.3.1	Kadar Air Agregat Kasar / Batu Pecah (ASTM C 556-97) ..	47
4.2.3.2	Berat Jenis Batu Pecah (ASTM C127- 01).....	47
4.2.3.3	Air Resapan Batu Pecah (ASTM C127- 01)	48
4.2.3.4	Berat Volume Agregat Kasar (ASTM C29 / 29M – 97)	48
4.2.3.5	Kadar Lumpur (C33-03).....	49
4.2.3.6	Keausan Batu Pecah (C131-03).....	49
4.2.3.7	Analisis Saringan Batu Pecah (ASTM C1336-01)	50
4.2.4	Pengujian Agregat Kasar (ALWA)	51
4.2.4.1	Berat Volume ALWA Berbahan <i>Styrofoam</i>	51
4.2.4.2	Analisa Saringan ALWA Berbahan <i>Styrofoam</i>	52
4.2.4.3	Berat Jenis ALWA Berbahan <i>Styrofoam</i>	53

4.2.4.4 Pengujian <i>Impact</i> ALWA Berbahan <i>Styrofoam</i>	54
4.3 Mix Design Beton	54
4.4 Hasil Pengujian Slump Beton.....	55
4.5 Berat Volume	57
4.6 Kekuatan Tekan Beton	58
4.7 Hubungan Tegangan-Regangan	62
4.8 Formulasi Tegangan-Regangan.....	64
4.9 Modulus Elastisitas.....	67
4.10 Kekuatan Tarik Belah	70
4.11 Kekuatan Lentur	73
4.12 RAB Substitusi Material Batu Pecah	75
BAB 5 KESIMPULAN	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Kimia Aseton.....	11
Tabel 2.1 Perbandingan Bahasan dengan Peneliti Sebelumnya.....	12
Tabel 3.1 Perubahan Warna Kadar Zat Organik.....	21
Tabel 3.2 Satu Set Ayakan Pasir	22
Tabel 3.3 Satu Set Ayakan Batu Pecah.....	24
Tabel 3.4 Satu Set Ayakan ALWA Berbahan <i>Styrofoam</i>	26
Tabel 3.5 Variasi Benda Uji Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Kuat Lentur.....	28
Tabel 4.1 Konsistensi Normal Semen OPC	35
Tabel 4.2 Konsistensi Normal Semen PPC.....	36
Tabel 4.3 waktu ikat dan mengeras semen OPC.....	38
Tabel 4.4 waktu ikat dan mengeras semen PPC	39
Tabel 4.5 berat jenis semen OPC	41
Tabel 4.6 berat jenis semen PPC.....	41
Tabel 4.7 Kadar Air Agregat Halus	42
Tabel 4.8 Berat Jenis Agregat Halus.....	42
Tabel 4.9 Air Resapan Agregat Halus.....	43
Tabel 4.10 Berat Volume Agregat Halus Tanpa Rojokan	43
Tabel 4.11 Berat Volume Agregat Halus dengan Rojokan.....	44
Tabel 4.12 kebersihan Agregat Halus teghadap bahan organik	44
Tabel 4.13 Kadar Lumpur Pasir	45
Tabel 4.14 Analisa Hasil Saringan.....	46
Tabel 4.15 Kadar Air Batu Pecah	47
Tabel 4.16 Berat Jenis Batu Pecah.....	47
Tabel 4.17 Air Resapan Batu Pecah.....	48
Tabel 4.18 Berat Volume Batu Pecah dengan Rojokan.....	48
Tabel 4.19 Berat Volume Batu Pecah tanpa Rojokan.....	49
Tabel 4.20 Kadar Lumpur Batu Pecah.....	49
Tabel 4.21 Keausan Batu Pecah.....	50
Tabel 4.22 Analisa Saringan Batu Pecah	50

Tabel 4.23 Berat Volume ALWA berbahan <i>styrofoam</i> tanpa Rojokan.....	52
Tabel 4.24 Berat Volume ALWA berbahan <i>styrofoam</i> dengan Rojokan.....	52
Tabel 4.25 Analisa Saringan ALWA berbahan <i>styrofoam</i>	53
Tabel 4.26 Berat Jenis ALWA berbahan <i>styrofoam</i>	54
Tabel 4.27 <i>Impact</i> ALWA berbahan <i>styrofoam</i>	54
Tabel 4.28 Mix design Beton OPC dan PPC per 1m ³	55
Tabel 4.29 Mix Design dengan Komposisi ALWA yang Berbeda tiap Silinder 100 x 200 mm.....	55
Tabel 4.30 Mix Design untuk Balok 150 x 150 x 600 mm	55
Tabel 4.31 Hasil uji Slump	56
Tabel 4.32 Berat Volume Beton PPC	57
Tabel 4.33 Berat Volume Beton OPC	57
Tabel 4.34 Kuat Tekan Beton menggunakan Semen OPC.....	59
Tabel 4.35 Kuat Tekan Beton menggunakan Semen PPC	59
Tabel 4.36 Hubungan Tegangan-Regangan Beton OPC	63
Tabel 4.37 Hubungan Tegangan-Regangan Beton PPC.....	63
Tabel 4.38 Variasi Persamaan n	65
Tabel 4.39 Modulus Elastisitas Beton OPC	68
Tabel 4.40 Modulus Elastisitas Beton PPC	68
Tabel 4.41 Modulus Elastisitas Beton Eksperimen dan Teoritis.....	69
Tabel 4.42 Kuat Tarik Belah Beton OPC	70
Tabel 4.43 Kuat Tarik Belah Beton PPC.....	71
Tabel 4.44 Momen crack dan Tegangan Lentur.....	75
Tabel 4.45 Perbandingan Hasil Teoritis dan Eksperimen	75
Tabel 4.46 RAB 1m ³ dengan Prosentase ALWA Berbahan <i>Styrofoam</i> yang Bervariasi.....	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ikatan kimia polystyrene	8
Gambar 3.1. Bagan Alir	16
Gambar 3.2 Agregat Ringan Buatan (ALWA) Berbahan <i>Styrofoam</i>	17
Gambar 3.3. Semen (a) type OPC (b) type PPC	18
Gambar 3.4 Pasir Lumajang.....	18
Gambar 3.5. Agregat Kasar (a) Batu Pecah Paserpan (b) ALWA berbahan <i>Styrofoam</i>	19
Gambar 3.6 Ilustrasi Pengujian Kekuatan Tekan.....	31
Gambar 3.7. Permodelan Uji Lentur	33
Gambar 4.1 Grafik Konsistensi Semen OPC	36
Gambar 4.2 Grafik Konsistensi Semen PPC.....	37
Gambar 4.3 Grafik Konsistensi Semen OPC dan Semen PPC	37
Gambar 4.4 Grafik Waktu Mengikat dan Mengeras Semen OPC	39
Gambar 4.5 Grafik Waktu Mengikat dan Mengeras Semen PPC.....	40
Gambar 4.5 Grafik Waktu Mengikat dan Mengeras Semen OPC dan Semen PPC	40
Gambar. 4.7 Kebersihan Pasir terhadap Bahan Organik.....	45
Gambar 4.8 Grafik Analisa Saringan Pasir	46
Gambar 4.9 Analisa Saringan Batu Pecah	51
Gambar 4.10 Analisa Saringan ALWA Berbahan <i>Styrofoam</i>	53
Gambar 4.11. Grafik Hubungan Slump dan Prosentase ALWA	56
Gambar 4.12 Hubungan Prosentase ALWA dan Volume beton.....	58
Gambar 4.13 Pola Keruntuhan Benda Uji (a) BO0-6 (b) BP50-4	60
Gambar 4.14 Grafik Hubunga Kuat Tekan terhadap Prosentase ALWA	61
Gambar 4.15 Hubunga Tegangan-Regangan Beton OPC.....	63
Gambar 4.16 Hubunga Tegangan-Regangan Beton PPC	64

Gambar 4.17 Grafik Hubunga Tegangan-Regangan Teoritis dan Eksperimen pada Beton OPC.....	66
Gambar 4.18 Grafik Hubunga Tegangan-Regangan Beton Teoritis dan Eksperimen pada Beton PPC.....	67
Gambar 4.19 Grafik Hubungan Prosentase ALWA dengan Modulus Elastisitas	69
Gambar 4.20 Hasil uji kuat tarik belah beton OPC	71
Gambar 4.21 Hasil uji kuat tarik belah beton PPC.....	72
Gambar 4.22 Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Prosentase ALWA	72
Gambar 4.23 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan	74
Gambar 4. 24 Benda Uji Balok Setelah Pengujian (a) Pola Kegagalan Lentur (b) Ilustrasi Kegagalan Lentur	74
Gambar 4. 25 Perbandingan RAB Penggunaan ALWA Berbahan <i>Styrofoam</i>	77

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan suatu bahan konstruksi yang tersusun dari beberapa komponen yaitu agregat kasar, agregat halus, air, dan semen. Sebagian besar infrastruktur di Indonesia terbuat dari beton dengan berat volume yang cukup tinggi yaitu 2400 kg/m^3 (PPIUG 1983). Beton dengan berat volume yang tinggi menjadi salah satu masalah ketika bangunan tersebut terkena beban gempa, karena dapat mengakibatkan kegagalan struktur. Untuk meminimalisir terjadinya kerusakan yang diakibatkan oleh gempa, maka perlu dilakukan suatu inovasi untuk mengubah beton konvensional. Selain itu, dalam pembuatan beton peran semen sangat penting. Semen berfungsi sebagai pengikat material lain sehingga membentuk bahan penyusun infrastruktur yang baik. Semen terdiri dari 3 tipe yaitu ; OPC (Ordinary Portland Cement), PCC (Portland Composite Cement) dan PPC (Portland Pozzoland Cement). Namun dari ketiga tipe tersebut yang paling sering dijumpai di pasaran adalah PPC dan PCC (Wayan Intara, I 2014).

Beton ringan adalah salah satu alternatif pengganti bahan bangunan pengganti beton konvensional khususnya dalam menghadapi gempa yang terjadi karena memiliki berat volume beton dibawah 1840 kg/m^3 (SNI 2847:2013). Diantara material penyusun tersebut, yang memiliki massa terbesar yaitu agregat kasar, sehingga untuk membuat beton ringan perlu dilakukan suatu inovasi untuk mengurangi massa pada agregat kasar.

Saat ini banyak terjadi pencemaran lingkungan akibat limbah *styrofoam* yang dihasilkan dari kegiatan industri khususnya di Surabaya. Salah satu industri yang menghasilkan limbah *styrofoam* yang cukup tinggi yaitu di pasar bunga Kayoon Surabaya yang merupakan produsen berbagai jenis bunga hias, maupun karangan bunga. Dalam proses pembuatan bunga hias maupun karangan bunga, dihasilkan limbah *styrofoam* cukup tinggi yang mengakibatkan bertumpuknya limbah *styrofoam*. Berdasarkan data yang didapat, terdapat sekitar 50 toko yang menghasilkan limbah *styrofoam* rata-rata $1,536 \text{ m}^3$ limbah perharinya. Sehingga,

didapatkan data limbah *styrofoam* yang terakumulasi perharinya dari seluruh toko bunga yaitu sebesar 76,8 m³ limbah perharinya.

Limbah *styrofoam* merupakan limbah yang sangat sulit terurai di alam. *Styrofoam* merupakan bahan plastik yang tersusun dari butiran dengan kerapatan rendah, mempunyai bobot ringan, dan terdapat ruang antar butiran yang berisi udara yang tidak dapat menghantar panas. Selain itu *styrofoam* memiliki kandungan 90-95% polistirena dan 5-10% gas seperti n-butana atau n-pentana (BPOM, 2008), Sifat-sifat tersebut menjadikan material *styrofoam* menjadi salah satu bahan alternatif yang digunakan pengganti agregat kasar dalam pembuatan beton ringan. Selain sifat tersebut, *styrofoam* memiliki kekuatan tarik dan daktilitas yang baik (Dharma Giri, I.B, dkk, 2008).

Beberapa penelitian mengenai pengaruh penambahan *styrofoam* terhadap perilaku beton telah banyak dilakukan dengan cara menambahkan *styrofoam* secara langsung pada campuran beton. Irmawaty R, dkk (2016) melakukan studi tentang perilaku lentur beton dengan substituen agregat menggunakan *styrofoam* dengan berbagai variasi. Penambahan 30% *styrofoam* dapat menurunkan 52,5% kekuatan tekan beton yang apabila diaplikasikan pada balok beton bertulang maka akan terjadi peningkatan kekuatan lentur. Dharma Giri, I.B, dkk (2008) melakukan studi kekuatan tekan dan modulus elastisitas beton dengan penambahan *styrofoam* (*styrocon*) dengan variasi presentase penambahan *styrofoam*. Dari penelitian ini didapatkan hasil optimum yaitu campuran *styrofoam* 40% dari total komposisi beton dapat menghasilkan beton ringan dengan berat satuan 1838,267 kg/m³, penurunan kekuatan tekan beton sebesar 69,145% dari kekuatan tekan beton normal dan penurunan modulus elastisitas sebesar 32,838%. Sinmamora Nenni (2015) melakukan studi penambahan *styrofoam* dengan pelarut toluena terhadap kekuatan tekan dan modulus elastisitas beton ringan. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil nilai kekuatan tekan dengan penambahan 12% *styrofoam* dengan pelarut toluena adalah 23,1 Mpa dan tanpa penambahan *styrofoam* didapatkan nilai kekuatan tekan sebesar 23,3 Mpa, sedangkan modulus elastisitas meningkat 21,2309% dari beton tanpa *styrofoam* dengan penambahan 20% *styrofoam*.

Dalam beberapa penelitian tersebut, terdapat dua perlakuan terhadap penambahan *styrofoam* dalam campuran beton. Pertama, *styrofoam* ditambahkan

secara langsung kedalam campuran beton. Kedua, *styrofoam* terlebih dahulu dilarutkan dengan cairan toluena, kemudian setelah dilarutkan *styrofoam* langsung ditambahkan kedalam campuran beton.

Dalam penelitian ini penambahan *styrofoam* kedalam beton dengan cara melarutkan *styrofoam* kemudian membentuknya menjadi agregat ringan yang disebut ALWA (*Artificial Light Weight Aggregate*). *Styrofoam* yang dilarutkan dibentuk menyerupai agregat kasar sesuai dengan gradasi yang diinginkan. Pelarut yang digunakan untuk melarutkan *styrofoam* adalah aseton. Aseton mampu berikatan dengan styrene yang menjadi bahan dasar Styrofoam. Styrene bersifat larut dalam lemak, alkohol, maupun asam. Bila *styrofoam* dibasahi dengan aseton/ alkohol maka *styrofoam* tersebut akan mengkerut dan lumer (Pujadi dan Melfa Yola, 2013).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh ALWA berbahan limbah *styrofoam* sebagai pengganti agregat kasar terhadap kekuatan tekan, modulus elastisitas dan kekuatan tarik belah beton?
2. Bagaimana pengaruh *styrofoam* terhadap penurunan berat volume beton normal ?
3. Bagaimana pengaruh semen OPC dengan ALWA berbahan *styrofoam* serta PPC dengan ALWA berbahan limbah *styrofoam* untuk mencapai kekuatan tekan, modulus elastisitas, dan kekuatan tarik belah yang optimal pada beton ringan ?
4. Bagaimana pengaruh ALWA berbahan limbah *styrofoam* terhadap kekuatan lentur beton ?

1.3 Tujuan

1. Mengetahui pengaruh ALWA berbahan limbah *styrofoam* sebagai pengganti agregat kasar terhadap kekuatan tekan, modulus elastisitas dan kekuatan tarik belah beton.
2. Mengetahui pengaruh *styrofoam* terhadap penurunan berat volume beton normal.

3. Mengetahui pengaruh semen OPC dengan ALWA berbahan limbah *styrofoam* serta PPC dengan ALWA berbahan limbah *styrofoam* untuk mencapai kekuatan tekan, modulus elastisitas dan kekekuatanan tarik belah yang optimal pada beton ringan.
4. Mengetahui pengaruh ALWA berbahan limbah *styrofoam* terhadap kekuatan lentur beton

1.4 Manfaat

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang material beton.
2. Penelitian ini dapat menghasilkan suatu beton ringan yang ekonomis karena memanfaatkan limbah *styrofoam*.
3. Sebagai referensi kepada pembaca mengenai manfaat limbah yang dapat digunakan sebagai material konstruksi.

1.5 Batasan Masalah

1. Pelarut yang digunakan hanya menggunakan aseton.
2. *Styrofoam* yang digunakan merupakan limbah dari pasar bunga Kayoon .
3. Semen yang digunakan dalam penelitian ini hanya semen type OPC dan PPC.
4. Prosentase campuran ALWA berbahan *styrofoam* yang ditinjau dalam penelitian ini yaitu 0%, 15%, 50%, dan 100% dari volume agregat kasar
5. Pengujian beton terhadap kekuatan tekan, modulus elastistas, kekuatan tarik belah dan kekuatan lentur.
6. Beda uji yang digunakan untuk pengujian kekuatan tekan, modulus elastistitas dan kekuatan tarik belah yaitu silinder 100 x 200 mm, sedangkan untuk pengujian kekuatan lentur menggunakan balok 150 x 150 x 600 mm.
7. Komposisi campuran *styrofoam* untuk pengujian kekuatan lentur berdasarkan komposisi campuran kekuatan tekan yang optimum.

8. Pengujian kekuatan tekan, modulus elastisitas, kekuatan tarik belah dan kekuatan lentur beton dilakukan ketika umur 28 hari
9. Kekuatan tekan rencana 35 Mpa.

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Ringan

Beton ringan memiliki kekuatan yang sebanding dengan berat beton normal, namun biasanya 25-35% lebih ringan. (al-Jaber, 2015). Penggunaan beton ringan (LWC) di bangunan tahan gempa sangat menguntungkan karena berat dan reduksi struktur (Saeed Jafari, 2107).

Menurut Saeed Jafari (2017) faktor – faktor yang memengaruhi kekuatan tekan dan densitas beton ringan adalah :

1. Peningkatan ukuran maksimum agregat ringan mengakibatkan densitas dan kekuatan tekan menurun. Hal ini dikarenakan peningkatan ukuran maksimum agregat ringan mengakibatkan struktur agregat ringan menjadi lebih lemah dan ringan.
2. Peningkatan rasio berat agregat ringan terhadap keseluruhan agregat mengakibatkan kekuatan tekan beton menurun.
3. Peningkatan rasio berat agregat ringan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap densitas. Hal ini dikarenakan meningkatnya peningkatan jumlah agregat ringan mengakibatkan penurunan jumlah pasir dan peningkatan jumlah semen.
4. Peningkatan rasio air-semen mengakibatkan penurunan kekuatan tekan beton.

Beberapa cara untuk membuat beton ringan namun semuanya bergantung pada adanya rongga udara dalam agregat atau pembuatan rongga udara dalam beton. Cara pembuatan beton ringan adalah sebagai berikut (Setiawan Agus, 2016) ;

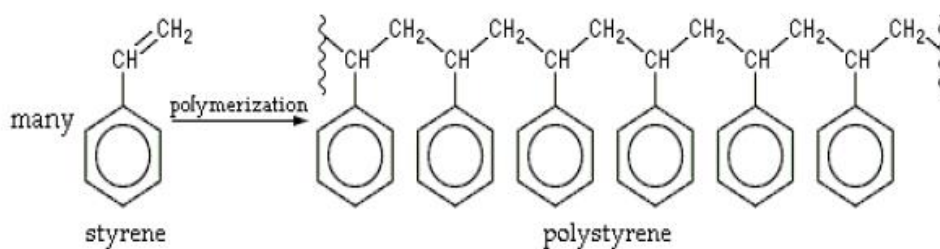
1. Beton ringan dengan bahan batuan yang berongga atau agregat ringan buatan yang digunakan juga sebagai pengganti agregat kasar/batu pecah. Beton ini memakai agregat ringan yang mempunyai berat jenis yang rendah (berkisar 1400 kg/m^3 – 2000 kg/m^3)
2. Beton ringan tanpa pasir (No Fines Concrete), dimana beton tidak menggunakan agregat halus (pasir) pada campuran pastanya atau sering disebut

beton non pasir, sehingga tidak mempunyai sejumlah besar pori-pori. Berat isi berkisar antara 880 –1200 kg/m³, yang dipengaruhi oleh berat isi agregat dan kadar semen. Penggunaan beton tipe ini sangat baik untuk kemampuan insulasi dari struktur, meskipun rongga keberadaan rongga udara sangat banyak dan cenderung seragam dapat mengurangi kekuatan tekan agregat.

3. Beton ringan yang diperoleh dengan memasukkan udara dalam adukan atau mortar (beton aerasi/beton busa/gas), sehingga akan terjadi pori-pori udara berukuran 0,1 – 1 mm dalam beton. Beton ini memiliki berat isi 200-1440 kg/m³ dan biasanya digunakan untuk keperluan insulasi serta beton tahan api.

2.2 Styrofoam

Styrofoam dikenal sebagai gabus putih biasa yang digunakan sebagai pembungkus barang - barang elektronik memiliki kandungan 90-95% polistirena dan 5-10% gas (BPOM,2008). Polistirena (*Polystyrene*) ini dihasilkan dari *styrene* (C₆H₅CH=CH₂), yang memiliki sifat transparan, lembut, elastis nilai susut kecil, mudah diwarnai dan mudah dibentuk. Selain itu *Polystyrene* bersifat agak rapuh dan lunak pada suhu di bawah 100⁰C (Billmeyer, 1984). *Polystyrene* ini memiliki berat jenis sampai 1050 kg/m³, kekuatan tarik sampai 40 MN/m², modulus lentur sampai 3 GN/m², modulus geser sampai 0,99 GN/m², angkapoisson 0,33 (Crawford, 1998).



Gambar 2.1 Ikatan kimia polystyrene (sumber : Suryanita Reni, dkk 2014)

Styrofoam merupakan material yang memiliki kemampuan menyerap air yang sangat kecil (kedap air). Penggunaan *styrofoam* dalam beton dapat dianggap sebagai rongga udara. Keuntungan menggunakan *styrofoam* dibandingkan

menggunakan rongga udara dalam beton berongga adalah *styrofoam* mempunyai kekuatan tarik dan daktilitas yang baik (Sinmamora Nenni, 2015). Dalam penambahan *styrofoam* ke dalam beton, kerapatan atau berat satuan dapat diatur dengan mengontrol jumlah *Styrofoam* yang digunakan dalam beton untuk memperoleh beton dengan berat satuan yang lebih kecil. Namun kekuatan tekan beton yang diperoleh akibat penambahan campuran tersebut akan menjadi lebih rendah.

Budhianto (1997) melakukan studi tentang penggunaan *styrofoam* sebagai pengganti agregat kasar untuk mendapatkan beton ringan dengan variasi *styrofoam* sebesar 0%, 12,5%, 25%, 37,5%, 50%, 62,5%, 75%, 87,5% dan 100%. Dari penelitian tersebut didapatkan penambahan 100% *styrofoam* dapat menurunkan modulus elastisitas sebesar 83,8% dari beton normal, selain itu penambahan 12,5% *styrofoam* cukup representatif apabila digunakan sebagai beton struktur. Yoppi Priyono (2014) melakukan studi pengaruh penggunaan *styrofoam* sebagai pengganti agregat kasar terhadap kekuatan tekan beton dengan variasi *styrofoam* sebesar 1%, 2% dan 3% dari berat campuran Beton Normal. Dari penelitian ini didapatkan penambahan 1% *stryofoam* akan menurunkan berat volume beton rata-rata sebesar 12% dengan rincian campuran 1% (turun 13%) , 2% (turun 22%) , 3% (turun 32%). Selain hal tersebut penambahan *stryofoam* pada beton menurunkan kekuatan tekan beton normal. Untuk penambahan *Styrofoam* sebesar 1% terjadi penurunan 54%, 2% sebesar 57% dan 3% sebesar 87%. Ashish Paranje dan Preeti Kulkarni (2017) melakukan studi tentang *Experimental Investigation on Styrofoam Based Concrete* dengan variasi prosentase Styrofoam 0%, 5%, 10% dan 15%. Penelitian ini menghasilkan semakin besar prosentase *styrofoam* maka nilai kekuatan tekan dan kekuatan tarik malah menurun. Sinmamora Nenni (2015) melakukan studi penambanhan *styrofoam* dengan pelarut tulena terhadap kekuatan tekan dan modulus elastisitas beton ringan. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil nilai kekuatan tekan dengan penambahan 12% *styrofoam* dengan pelarut toluena adalah 23,1 Mpa dan tanpa penambahan *styrofoam* didapatkan nilai kekuatan tekan sebesar 23,3 Mpa, sedangkan modulus elastisitas meningkat 21,2309% dari beton tanpa *styrofoam* dengan penambahan 20% *styrofoam*. Dedi Enda (2016) melakukan studi tentang kajian eksperimental material dan elemen dinding beton beragregat

kasar *styrofoam* dengan lapisan coating. Dari penelitian tersebut menghasilkan nilai rata-rata kekuatan tarik belah, kekuatan tarik lentur, modulus elastisitas, porositas beton ALWA *styrofoam* pada umur 28 hari dengan menggunakan komposisi campuran beton ALWA *styrofoam* w/c 0,5 berturut-turut adalah 1,474 MPa, 4,399 MPa, 12.143,67 MPa, 18,92%. Sedang untuk pengujian ketahanan beton terhadap penetrasi ion klorida termasuk kategori tinggi.

2.3 Semen Portland

Semen merupakan salah satu bahan dasar pembuatan beton yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif sebagai perekat yang mengikat fragmen-fragmen mineral menjadi suatu kesatuan yang kompak (Andriani, dkk 2012).

Semen portland merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (subakti aman, dkk :2012).

2.3.1 Tipe Semen

Menurut Wayan Intara, I 2014 tipe semen yang sering dijumpai di pasaran terdiri dari 3 tipe yaitu :

1. Semen OPC (*Ordinary Portland Cement*)

OPC (*Ordinary Portland Cement*) merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (Intara Wayan, 2014).

2. Semen PCC (*Portland Composite Cement*)

Semen Portland Komposit adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak Semen Portland dan gipsum dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran bubuk Semen Portland dengan

bubuk bahan anorganik lain (Intara Wayan, 2014). Semen PCC memiliki daya ikat yang lebih kekuatan daripada semen OPC (Putri Yane, 2015).

3. PPC (Portland Pozzoland Cement)

Semen Portland Pozzolan adalah semen hidrolis yang terdiri dari campuran homogen antara semen Portland dan Pozzolan halus, yang diproduksi dengan menggiling klinker semen Portland dan Pozzolan bersama-sama atau mencampur secara rata bubuk semen Portland dan Pozzolan atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozzolan 15 s.d 40% massa Semen Portland Pozzolan (Intara Wayan, 2014). Sifat pozzolan tersebut yang megakibatkan kekuatan beton yang semakin baik dengan bertambahnya umur beton (Solikin, Mochamad, dkk 2014).

2.4 Aseton

Aseton yang merupakan keton yang paling sederhana adalah larutan yang tidak berwarna, mudah menguap, beraroma mint, manis dan mudah terbakar. Selain itu aseton mudah larut dalam air, etanol, dan eter. Aseton biasa digunakan sebagai pelarut polar dalam kebanyakan reaksi organik. Aseton dikenal juga sebagai propanon, dimetil keton, 2-propanon, propan-2-on dan β -ketopropana. (Setiadi Irawan, 2008).

Tabel 2.1 Sifat Kimia Aseton

Sifat Kimia Aseton	
Rumus molekul	C_3H_6O
Berat molekul	58,08
Titik didih	56°C (133F)
Titik beku	-95°C (-139F)
Titik lebur	-94°C
Tekanan uap	180 mmHg @20°C
Berat jenis uap	2,0
Berat jenis	0,7899
larut dalam	air; alkohol, eter, benzen, kloroform, dimetilformamid, minyak.

Sumber: BPOM, 2011

2.5 Perbandingan dengan Pengujian Sebelumnya

Berikut ini tabel perbandingan bahasan dengan peneliti sebelumnya

Tabel 2.2 Perbandingan Bahasan dengan Peneliti Sebelumnya

Literatur	Bahasan	Beda Bahasan
Budhianto (1997), Penggunaan Stereofom Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Untuk Mendapatkan Beton Riangan	<ul style="list-style-type: none"> • penggunaan butiran <i>styrofoam</i> secara langsung • Prosentase <i>styrofoam</i> 0%; 12,5%; 25%; 37,5%; 50%; 62,5%; 75%; 87,5% dan 100% • Pengujian kekuatan tekan dan modulus elastisitas • Penambahan 100% <i>styrofoam</i> mengakibatkan penurunan modulus elastisitas sebesar 83,8% dari beton normal • beton dengan penambahan 12% <i>styrofoam</i> cukup representatif apabila digunakan sebagai beton struktur 	<ul style="list-style-type: none"> • Syrofoam dilarutkan menggunakan Pelarut aseton • Prosentase <i>styrofoam</i> 0%; 15%, 50%, 100% • Pengujian kekuatan tekan, kekuatan tarik belah, kekuatan lentur dan modulus elastisitas
Giri I.B.D., I Ketut S., & Ni Made T. (2008), Kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan penambahan <i>styrofoam</i> (styrocon)	<ul style="list-style-type: none"> • penggunaan butiran <i>styrofoam</i> secara langsung • Prosentase <i>styrofoam</i> 0%, 10%, 20% dan 40% • Pengujian kekekuatanan tekan dan modulus elastisitas • FAS 0.5 • Semen gresik tipe 1 • kekuatan tekan optimum dengan campuran <i>styrofoam</i> yaitu 24,144 Mpa dengan penambahan 10% <i>styrofoam</i> • Modulus elastistas optimum dengan campuran <i>styrofoam</i> yaitu 10202,393 MPa dengan penambahan 10% <i>styrofoam</i> • 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Syrofoam</i> dilarutkan menggunakan pelarut aseton • Prosentase <i>styrofoam</i> 0%; 15%, 50%, 100% • Pengujian kekuatan tekan, kekuatan tarik belah, kekuatan lentur dan modulus elastisitas • FAS 0.3 • Semen gresik (OPC dan PPC) •

Priyoni Yoppi & Nadia. (2014), Pengaruh Penggunaan <i>Styrofoam</i> Sebagai Pengganti Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan Beton	<ul style="list-style-type: none"> • penggunaan butiran <i>styrofoam</i> secara langsung • Prosentase <i>styrofoam</i> 0%, 1%, 2% dan 3% • Pengujian kekuatan tekan • Semen tiga roda type 1 • Penambahan 1% <i>styrofoam</i> dapat menurunkan volume beton rata - rata sebesar 12% dari beton normal • Penurunan kekuatan tekan terbesar yaitu dengan penambahan 3% <i>styrofoam</i> yaitu sebesar 87% dari kekuatan tekan beton normal 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Syrofoam</i> dilarutkan menggunakan Pelarut aseton • Prosentase <i>styrofoam</i> 0%; 15%, 50%, 100% • Pengujian kekuatan tekan, kekuatan tarik belah, kekuatan lentur dan modulus elastisitas • Semen gresik (OPC dan PPC)
Simamora nenni. (2015), Pengaruh Penambahan <i>Styrofoam</i> dengan Pelarut Toluena terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Ringan	<ul style="list-style-type: none"> • Prosentase <i>styrofoam</i> 0%, 12%, 14%, 16%, 18% dan 20% • <i>Syrofoam</i> dilarutkan menggunakan Pelarut toluena • Pengujian kekuatan tekan dan modulus elastisitas • FAS 0.5 • Kekuatan tekan optimum dengan campuran <i>styrofoam</i> yaitu 23.1 Mpa dengan penambahan 12% <i>styrofoam</i> • Modulus elastistas optimum dengan campuran <i>styrofoam</i> yaitu 4672 MPa dengan penambahan 20% <i>styrofoam</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Prosentase <i>styrofoam</i> 0%; 15%, 50%, 100% • <i>Syrofoam</i> dilarutkan menggunakan Pelarut aseton • Pengujian kekuatan tekan, kekuatan tarik belah, kekuatan lentur dan modulus elastisitas • FAS 0.3
Enda Dedi, dkk. (2016), Kajian eksperimental material dan elemen dinding beton beragregat kasar <i>styrofoam</i> dengan lapisan coating	<ul style="list-style-type: none"> • Butiran <i>styrofoam</i> dilapisi coating dengan ukuran maksimum 2cm • FAS 0.5 ; 0.6 ; 0,7 dan 0.8 • Pengujian kekuatan tekan • kekuatan tekan ALWA <i>styrofoam</i> meningkat seiring menurunnya air semen 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Syrofoam</i> dilarutkan menggunakan Pelarut aseton • FAS 0.3 • Pengujian kekuatan tekan, kekuatan tarik belah, kekuatan lentur dan modulus elastisitas

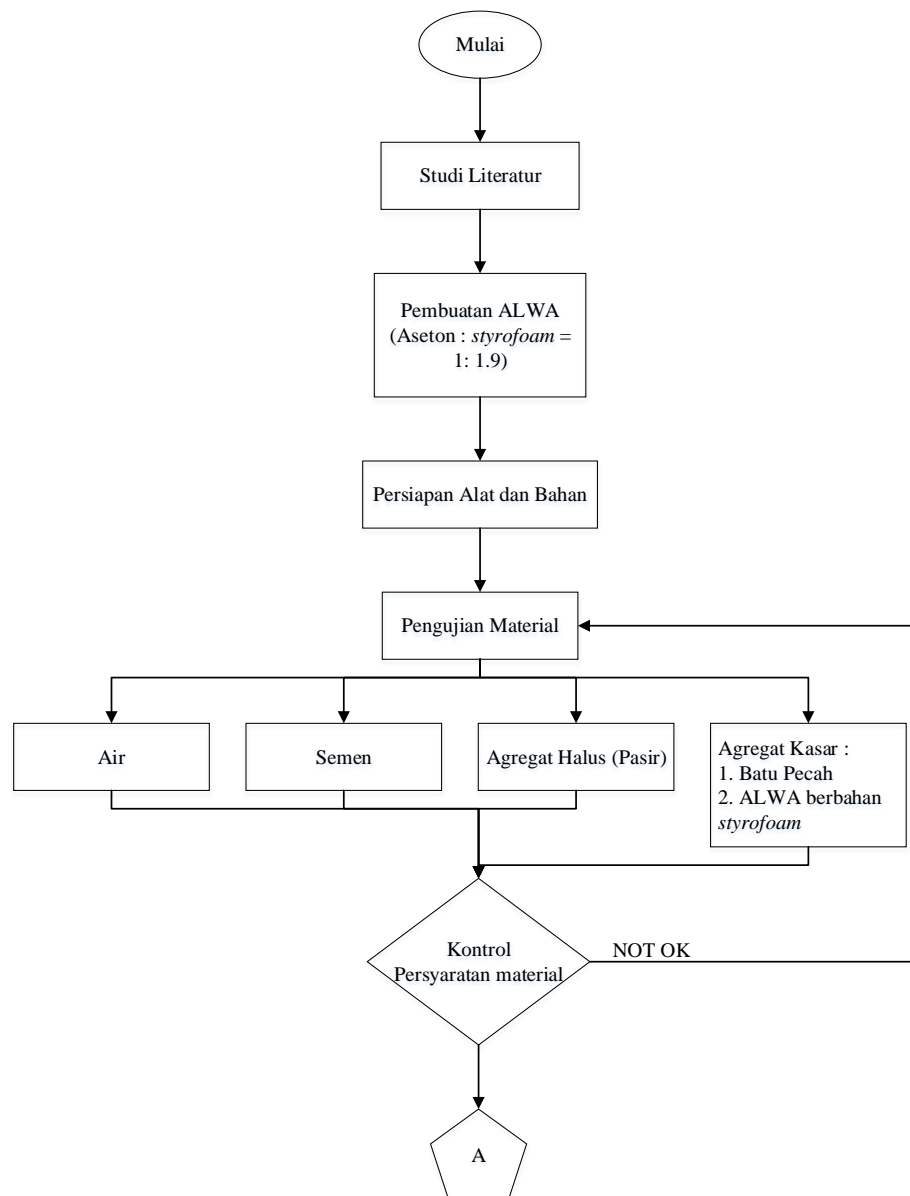
<p>Ashish Paranje dan Preeti Kulkarni (2017), <i>Experimental Investigation on styrofoam Based Concrete</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • penggunaan butiran <i>styrofoam</i> secara langsung • Pengujian kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah • Dimensi <i>styrofoam</i> 10-20 mm • Pengujian dilakukan ketika usia beton 7 hari, 28 hari dan 56 hari 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Syrofoam</i> dilarutkan menggunakan pelarut aseton • Pengujian kekuatan tekan, kekuatan tarik belah, kekuatan lentur dan modulus elastisitas • Dimensi <i>styrofoam</i> 10-20 mm • Pengujian dilakukan ketika usia beton 28 hari
---	--	--

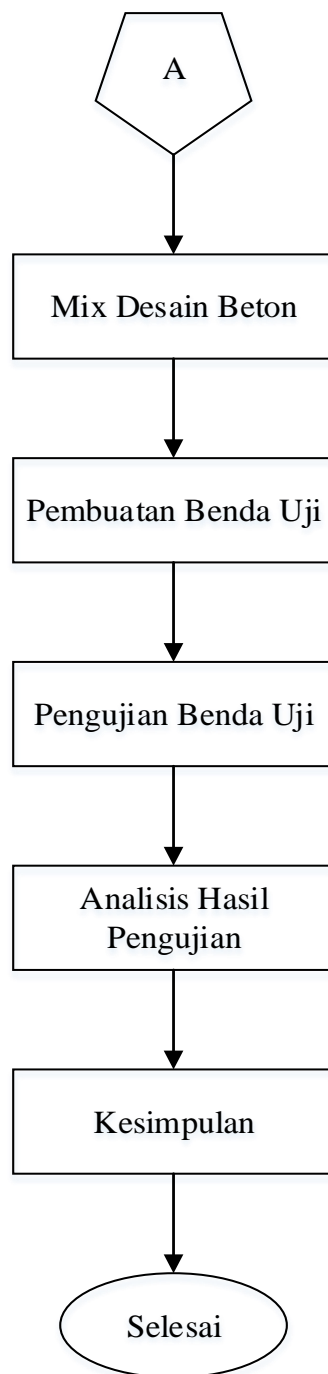
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Pada bab ini akan dibahas langkah kerja penelitian, rancangan eksperimen di laboratorium, dan detail pengujian yang akan dikerjakan seperti pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1. Bagan Alir

3.2 Studi Literatur

Tahap Studi Literatur yang dilakukan di dalam penelitian ALWA berbahan *styrofoam* ini adalah dengan menggunakan jurnal-jurnal penelitian material *styrofoam*.

3.3 Pembuatan ALWA berbahan *Styrofoam*

Bahan yang perlu dipersiapkan untuk pembuatan ALWA yaitu *styrofoam* dan larutan aseton. Berikut ini langkah-langkah pembuatan ALWA :

- a. *Styrofoam* terlebih dahulu dipotong kecil – kecil, kemudian diberi larutan aseton, dengan perbandingan berat campuran aseton dan *styrofoam* sebesar 1 : 1.9
- b. Pemberian aseton pada *styrofoam* dilakukan secara bertahap, kemudian dibentuk menjadi butiran
- c. Setelah berbentuk menjadi butiran, ALWA direndam didalam air selama \pm 3 hari agar ALWA cepat mengering dan teksturnya menjadi keras.
- d. ALWA yang sudah direndam selama \pm 3 hari ditiriskan kemudian diangin-anginkan pada suhu 27^0 selama \pm 14 hari agar ALWA menjadi kering.



Gambar 3.2. Agregat Ringan Buatan (ALWA) Berbahan *Styrofoam*

3.4 Persiapan Alat dan Bahan

3.4.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Laboratorium Beton PT. Varia Usaha Beton.

2.4.2 Bahan

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

2.4.2.1 Semen

Semen yang digunakan adalah semen OPC dan PPC yang diproduksi oleh PT. Semen Gresik.



(a)



(b)

Gambar 3.3 Semen (a) type OPC (b) type PPC

2.4.2.2 Agregat Halus / Pasir

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang berasal dari Lumajang



Gambar 3.4 Pasir Lumajang

2.4.2.3 Air

Air yang digunakan dalam pembuatan benda uji berasal dari air PDAM yang berada di Laboratorium Beton PT. Varia Usaha Beton.

2.4.2.4 Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu pecah yang berasal dari Paserpan. Selain itu menggunakan ALWA berbahan *styrofoam*.



(a)



(b)

Gambar 3.5 Agregat Kasar (a) Batu Pecah Paserpan (b) ALWA berbahan *styrofoam*

3.5 Pengujian Material

3.5.1 Semen

Analisis yang dilakukan terhadap semen portland yaitu analisis berat jenis semen (ASTM C188-95), konsistensi normal (ASTM C187-04), dan pengikatan awal (ASTM C191-08).

3.5.2 Pasir

1. Pengujian Kadar Air / Kelembaban (ASTM C 566-97)

Kadar air pasir yaitu perbandingan berat air yang dikandung pasir pada kondisi asli terhadap berat pasir pada kondisi kering oven.

$$\text{Kelembaban pasir} = \left[\frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \right] \times 100\% \quad (3-1)$$

Dimana :

W_1 = Berat pasir asli (gram)

W_2 = Berat pasir oven (gram)

2. Pengujian Berat Jenis Pasir (ASTM C 128 – 01)

3. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan berat jenis agregat halus dalam kondisi kering permukaan dan kondisi kering oven yang akan digunakan untuk desain benda uji. berat jenis pasir dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Berat jenis} = \frac{500}{(B + 500 - B_t)} \quad (3-2)$$

Dimana :

B = berat piknometer berisi air (gram)

B_t = berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

500= berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

4. Pengujian Air Resapan Pada Pasir (ASTM C 128- 01)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar air resapan pada pasir.

$$\text{Kadar air resapan} : \left[\frac{(A - W_1)}{W_1} \right] \times 100\% \quad (3-3)$$

dimana :

A : berat pasir SSD (gram)

W₁ : Berat pasir oven (gram)

5. Pengujian Berat Volume Pasir (ASTM C 29– 97 Reapp.03)

Pengujian ini bertujuan untukn menentukan berat volume pasir baik dalam keadaan lepas maupun padat.

$$\text{Berat Volume} = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \quad (3-4)$$

dimana :

W₁ = Berat Silinder (gram)

W₂ = Berat Silinder + Pasir (gram)

V = Volume Silinder (ml)

6. Pengujian Kotoran Organik dalam Pasir (ASTM C40-04)

Tujuan pengujian ini adalah untuk memperoleh standar warna terhadap larutan benda uji. Percobaan ini dilakukan karena bahan organik mempunyai kelemahan, yaitu:

1. Mudah menyerap air
2. Tidak mempunyai kekuatan menempel yang baik.
3. Gaya tekannya jelek.

Tabel 3.1 Perubahan Warna Kadar Zat Organik

Warna Larutan	Penurunan Kekuatan
Tidak berwarna/kuning muda	0%
<i>Kuning</i>	<i>Batas</i>
Kuning tua	10 – 20%
Merah tua	15 – 30 %
Merah – kecoklatan	25 – 50%
Coklat - merah tua	50 – 100%

7. Pengujian Kadar Lumpur (C117-03)

Tujuan pengujian ini adalah untuk memperoleh persentase jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm).

$$W_6 = \frac{(W_3 - W_5)}{W_3} 100\% \quad (3-5)$$

dimana :

- W_1 = berat kering benda uji + wadah (gram)
- W_2 = berat wadah (gram)
- W_3 = berat kering benda uji ($W_2 - W_1$) (gram)
- W_4 = berat kering benda uji sesudah pencucian + wadah (gram)
- W_5 = berat kering benda uji sesudah pencucian ($W_4 - W_2$) (gram)
- W_6 = persen bahan lolos saringan nomor 200 (0,075mm) (%)

8. Pengujian Kondisi dan Analisis Ayakan Pasir (ASTM C136 - 01)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memperoleh gradasi pasir.

Tabel 3.2 Satu Set Ayakan Pasir

Saringan	
Nomor	mm
4	4,76
8	2,38
16	1,19
30	0,59
50	0,297
100	0,149
Pan	0,00
Jumlah	

3.5.3 Air

Air yang dipergunakan untuk pembuatan beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam. Zat organik atau bahan – bahan lain yang dapat merusak beton dan baja tulangan. Air tawar yang umumnta dapat diminum, baik yang telah diolah perusahaan air minum maupun tanpa diolah dapat dipakai untuk pembuatan beton (SNI 2847:2013).

3.5.4 Agregat Kasar

3.5.4.1 Pengujian Batu Pecah

1. Pengujian Kadar Air/Kelembaban Agregat Kasar (ASTM C566-97)

Kadar *air agregat* adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen.

$$\text{Kadar air agregat adalah} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \quad (3-6)$$

dimana :

W_1 : Berat batu pecah asli (gram)

W_2 : Berat batu pecah oven (gram)

2. Berat Jenis Batu Pecah dan Penyerapan Air Agregat Kasar (ASTM C127-01)

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan angka berat jenis kering permukaan jenuh.

a. berat jenis kering permukaan jenuh : $\frac{B_j}{B_j - B_a}$ (3-7)

b. Penyerapan = $\frac{(500 - B_k)}{B_k} \times 100\%$ (3-8)

Dimana :

B_j : berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

B_k : berat benda uji kering oven (gram)

3. Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat (ASTM C29/29M-97 Reapp.03)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat volume batu pecah baik dalam keadaan lepas maupun padat.

$$\text{Berat volume} = \frac{W_3}{V} \quad (3-9)$$

Dimana :

W₁ = Berat silinder (gram)

W₂ = Berat silinder + batu pecah (gram)

W₃ = Berat batu pecah (W₁ – W₂) (gram)

V = Volume silinder (liter)

4. Pengujian Kebersihan Batu Pecah Terhadap Lumpur (Pencucian) (ASTM C33 –03)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur agregat kasar (batu pecah)

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \quad (3-10)$$

Dimana :

W₁ = Berat kering sebelum dicuci (gram)

W₂ = Berat kering sesudah dicuci (gram)

5. Test Keausan Agregat Kasar (ASTM C 131 – 03)

Pengujian ini bertujuan Mengetahui persentase keausan batu pecah untuk beton dengan menggunakan mesin Los Angeles.

$$\text{Keausan} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \quad (3-11)$$

Dimana :

W_1 = Berat sebelum diabrasi (gram)

W_2 = Berat sesudah diabrasi (gram)

6. Analisis Saringan Batu Pecah (ASTM C 136 – 01)

Analisis ini bertujuan untuk menentukan gradasi batu pecah

Tabel 3.3 Satu Set Ayakan Batu Pecah

Saringan	
Nomor	mm
1 1/2"	
3/4"	
3/8"	
4	4,76
8	2,38
16	1,19
30	0,59
50	0,297
100	0,149
Pan	0,00
Jumlah	

3.5.4.2 Pengujian ALWA Berbahan *Styrofoam*

Agregat ringan buatan berbahan *styrofoam* akan digunakan sebagai pengganti agregat kasar (batu pecah) sebagian. Pengujian agregat ringan buatan (ALWA) mengacu pada standar ASTM C 330-04.

Adapun pengujiannya sebagai berikut :

1. Berat Jenis ALWA Berbahan *Styrofoam*

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan angka berat jenis curah , berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu, serta besarnya angka penyerapan.

$$\text{Berat jenis} = \frac{500}{(B + 500 - B_t)} \quad (3-12)$$

dimana :

B = berat piknometer berisi air (gram)

B_t = berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

500= berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

2. Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat ALWA Berbahan *Styrofoam*

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat volume batu pecah baik dalam keadaan lepas maupun padat.

$$\text{Berat volume} = \frac{W_3}{V} \quad (3-13)$$

Dimana :

W₁ = Berat silinder (gram)

W₂ = Berat silinder + batu pecah (gram)

W₃ = Berat batu pecah (W₁ – W₂) (gram)

V = Volume silinder (liter)

3. Test *impact* ALWA Berbahan *Styrofoam* (BSI 812-112:1990)

Pengujian ini bertujuan mengetahui persentase keausan ALWA berbahan *styrofoam*.

$$\text{Impact} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \quad (3-11)$$

Dimana :

W₁ = Berat sebelum diabrasi (gram)

W₂ = Berat sesudah diabrasi (gram)

4. Analisis Saringan ALWA Berbahan *Styrofoam*

Analisis ini bertujuan untuk menentukan gradasi ALWA berbahan *styrofoam*

Tabel 3.4 Satu Set Ayakan ALWA Berbahan *Styrofoam*

Saringan	
Nomor	mm
4	4,76
8	2,38
16	1,19
30	0,59
50	0,297
100	0,149
Pan	0,00
Jumlah	

3.6 Mix design

Mix design ini bertujuan untuk mendapatkan massa bahan yang akan digunakan untuk membuat 1 m³ beton. Pada penelitian ini mix design yang digunakan menggunakan metode DOE.

Berikut adalah langkah–langkah dalam perhitungan proporsi campuran :

1. Menentukan factor air-semen
2. Menentukan nilai slump

Menentukan besar butir agregat maksimum harus memperhatikan syarat–syarat pada SNI 2847:2013 berikut ini :

- a. Seperlima (1/5) jarak terkecil antar bidang–bidang samping dari cetakan
 - b. Sepertiga (1/3) dari tebal pelat
 - c. Tiga perempat (3/4) jarak bersih minimum diantara batang–batang atau berkas–berkas tulangan
3. Menentukan kadar air bebas harus memperhatikan nilai slump

4. Menentukan jumlah semen menggunakan nilai dari kadar air bebas dan nilai factor air-semen.

Jumlah semen = jumlah kadar air bebas : nilai factor air-semen

5. Menentukan persen agregat halus dan agregat kasar
6. Menentukan berat jenis riil agregat *SSD*
7. Menentukan berat isi beton basah dilakukan berdasarkan berat relative agregat

$$B_j \text{ agregat} = B_j \text{ agregat halus} \times \text{persen agregat halus} + B_j \text{ agregat kasar} \times \text{persen agregat kasar}$$

8. Menentukan kadar agregat gabungan

Kadar agregat gabungan = Berat jenis beton – kadar air bebas - semen)

9. Menentukan kadar agregat halus

Kadar agregat halus = kadar agregat gabungan x persen agregat halus

10. Menentukan kadar agregat kasar berdasarkan

Kadar agregat kasar = kadar agregat gabungan- kadar agregat halus

11. Kemudian data dikoreksi untuk mendapatkan proporsi campuran beton dalam kondisi asli dengan memperhitungkan nilai kadar air serta penyerapan pada tiap-tiap agregat.

12. Setelah nilai kadar air agregat dan penyerapan tiap-tiap agregat didapatkan, maka dilakukan koreksi sebagai berikut :

a.
$$\text{Air} = B - (C_m - C_a) \times C/100 - (D_m - D_a) \times D/100 \quad (3-14)$$

b.
$$\text{Agregat Halus} = C + (C_m - C_a) \times C/100 \quad (3-15)$$

c.
$$\text{Agregat Kasar} = D + (D_m - D_a) \times D/100 \quad (3-16)$$

Keterangan :

B adalah jumlah air (Kg/m^3)

C adalah jumlah agregat halus (Kg/m^3)

D adalah jumlah agregat kasar (Kg/m^3)

C_a adalah absorpsi air pada agregat halus (%)

D_a adalah absorpsi air pada agregat kasar (%)

Cm adalah kandungan air dalam agregat halus (%)

Dm adalah kandungan air dalam agregat kasar (%)

3.7 Pembuatan Benda Uji

Setelah proses pengujian bahan selesai dan memenuhi syarat maka dilakukan pembuatan benda uji. Benda uji ini dibuat berdasarkan hasil *mix design*. Bentuk benda uji untuk penelitian ini adalah silinder. Variasi benda uji kekuatan tekan dijabarkan pada Tabel 3.5 dibawah ini :

Tabel 3.5 Variasi Benda Uji Kekuatan Tekan, Kekuatan Tarik Belah, dan Kekuatan Lentur

Kode Benda Uji	Prosentase ALWA (%)	Jenis Semen	Dimensi Benda Uji (mm)	Jumlah Kebutuhan Benda Uji			Jumlah
				Kekuatan Tekan	Kekuatan Tarik Belah	Kekuatan Lentur	
BO0	0	OPC	SILINDER 100 X 200	3	3	2 BALOK 150 x 150 x 600	50
BO15	15			3	3		
BO50	50			3	3		
BO100	100			3	3		
BP0	0	PPC	SILINDER 100 X 200	3	3	2 BALOK 150 x 150 x 600	50
BP15	15			3	3		
BP50	50			3	3		
BP100	100			3	3		

Adapun langkah-langkah pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

- Siapkan semua bahan yang dibutuhkan sesuai dengan hasil perbandingan campuran beton dalam keadaan asli.
- Mollen diisi air secukupnya (sekedarnya membasahi mollen tersebut).
- Masukkan batu pecah dan ALWA, dan $\frac{3}{4}$ bagian dari air, setelah semua batu pecah terbasahi dengan rata lalu masukkan semen disusul pasir.
- Masukkan air sisanya tadi dan aduk sampai rata (mollen diputar).
- Setelah campuran beton homogen (5 menit) campuran tersebut dapat dikeluarkan dari mollen dan ditempatkan di bak.
- Menyiapkan cetakan silinder dengan ukuran 10x20 cm
- Eratkan baut-bautnya dan lapisi dengan sedikit oli sampai merata.

- h. Isi silinder dengan 1/3 spesi beton rojok 25 kali, isi 2/3 rojok 25 kali, isi penuh rojok 25 kali dan ratakan permukaannya.
- i. Didiamkan setelah 24 jam, buka cetakannya.
- j. Rendam beton dalam air untuk curing selama 28 hari.

3.8 Percobaan Slump

Tujuan pengujian ini adalah untuk memperoleh angka slump beton.

Untuk melaksanakan pengujian slump beton, harus diikuti beberapa tahapan sebagai berikut:

- a. Basahilah cetakan dan pelat dengan air basah.
- b. Letakkan cetakan diatas pelat dengan kokoh.
- c. Isilah cetakan sampai penuh dengan beton segar dalam 3 lapis, tiap lapis berisikira-kira 1/3 isi cetakan, setiap lapis dirojok dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali secara merata, tongkat harus masuk sampai lapisan bagian bawah tiap-tiap lapisan, pada lapisan pertama perojokan bagian tepi tongkat dimiringkan sesuai dengan kemiringan cetakan.
- d. Segera setelah selesai perojokan ratakan permukaan benda uji dengan tongkat dan semua sisi benda uji yang jatuh disekitar cetakan harus disingkirkan, kemudian cetakan diangkat perlahan-lahan tegak lurus keatas, seluruh pengujian mulai dari pengisian sampai cetakan diangkat harus selesai dalam jangka waktu 2,5 menit.
- e. Balikkan cetakan dan letakan perlahan-lahan diasamping benda uji ukurlah slump yang terjadi dengan menentukan perbedaan tinggi cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji.

3.9 Pengujian Benda Uji

1. Uji Modulus Elastisitas (ACI 318)

Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan modulus elastisitas. Terdapat 4 komposisi campuran ALWA pada silinder beton yaitu 0%, 15%, 50%, dan 100%. Tes akan dilakukan pada umur beton 28 hari.

Adapun langkah – langkah pengujiannya sebagai berikut :

1. Sebelum diuji benda uji diberi tutup kepala (*capping*) agar permukaan yang akan dibebani menjadi rata dan pembebanan merata pada seluruh permukaan.
2. Timbang beton yang akan diuji
3. Benda uji kemudian dipasang dengan alat uji modulus elastisitas sesuai yang tertera pada standar. Alat uji ini terdiri dari alat pengukur regangan vertikal dan horisontal.
4. Masukkan sampel ke alat uji pembebanan tekan, kemudian benda uji di beri pembebanan sampai 45% pembebanan tekan maksimum.
5. Kemudian pembacaan dilakukan untuk penurunan beban sampai nol
6. Lakukan pembacaan dengan prosedur yang sama, sebanyak 3 siklus pembebanan.
7. Kemudian alat uji modulus elastisitas dilepas dari badan sampel, lalu lakukan uji tekan pada sampel beton sampai hancur.

Modulus elastisitas dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$E = 4700\sqrt{f'_c} \quad (3-17)$$

dimana :

E = Modulus elastisitas (MPa)
 f'_c = Kekuatan tekan beton (MPa)

2. Uji Kekuatan Tekan Beton (ASTM C 39)

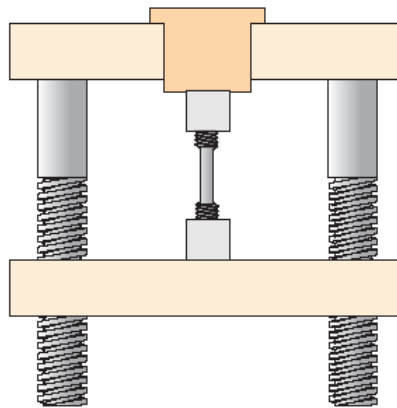
Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kekuatan tekan hancur beton terhadap pembebanan. Terdapat 4 komposisi campuran ALWA pada silinder beton yaitu 0%, 15%, 50%, dan 100%. Tes akan dilakukan pada umur beton 28 hari dengan alat yang digunakan untuk pengujian kekuatan tekan adalah UTM (*Universal Testing Machine*).

Adapun langkah – langkah pengujiannya sebagai berikut :

1. Sebelum diuji benda uji diberi tutup kepala (*capping*) agar permukaan yang akan dibebani menjadi rata dan pembebanan merata pada seluruh permukaan.

Sampel benda uji juga ditimbang untuk memastikan kebenaran hasil tes berat isi beton

2. Pengujian dilakukan dengan cara meletakkan silinder beton pada mesin tekan dengan posisi tegak dan sentries.
3. Mesin dijalankan dengan pembebanan yang konstan. Pembebanan dilakukan sampai silinder beton hancur, kemudian hasil pembebanan maksimum dicatat.



Gambar 3.6 Ilustrasi Pengujian Kekuatan Tekan

Kekuatan tekan dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3-18)$$

dimana :

f'_c = kekuatan tekan beton (MPa)

P = beban runtuh yang di terima benda uji (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)

3. Uji Kekuatan Tarik Belah Beton (ASTM C 496/C 496M)

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan geser dari komponen struktur yang terbuat dari beton menggunakan agregat ringan. Terdapat 4 komposisi campuran ALWA pada silinder beton yaitu 0%, 15%, 50%, dan 100%. Tes akan dilakukan pada umur beton 28 hari dengan alat yang digunakan untuk pengujian kekuatan tarik belah adalah *compression testing machine* (CTM).

Adapun langkah – langkah pengujiannya sebagai berikut :

1. Menggambar garis diameter pada kedua ujung silinder, kemudian membuat garis yang menghubungkan kedua ujung garis diameter

tersebut. Periksa apakah kedua garis yang sejajar sumbu silinder tersebut benar-benar berada pada kedua sisinya,

2. Letakkan pelat tipis yang terbuat dari kayu di atas blok mesin tekan yang bawah, dengan melalui pusat diameter bloknya,
3. Letakkan benda uji di atas pelat tipis kayu dengan garis diameter vertikal. Perhatikan apakah silinder telah benar-benar terletak semuanya di atas pelat tipis kayu tersebut,
4. Letakkan kembali pelat tipis yang lain di atas silinder beton,
5. Periksa apakah posisi silinder berada diantara dua pelat penekan secara sentris dan semua pelat tipis kayu berada sejajar dengan sumbu silinder,
6. Letakkan benda uji pada alat pembebanan mesin uji tarik belah beton (*compression testing machine*),
7. Menerapkan beban pada silinder secara terus menerus dan tidak boleh secara mendadak. Pembebanan dilakukan sampai beton tersebut pecah.

Kekuatan tarik belah dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$f_t = \frac{2P}{\pi LD} \quad (3-19)$$

dimana:

f_t = Besarnya kekuatan tarik belah (MPa)

P = Beban maksimum (N)

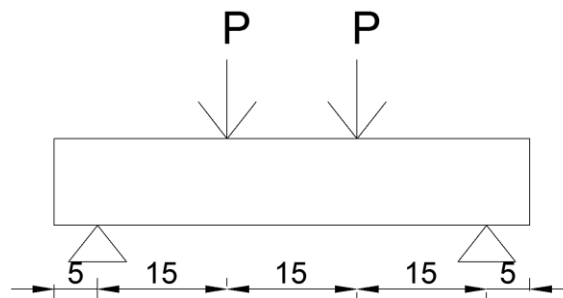
L = Panjang benda uji silinder (mm)

3. Pengujian Kekuatan Lentur (ASTM C 78)

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai tahanan lentur. Pengujian ini dilakukan pada umur 28 hari dengan menggunakan metode *third point loading* dengan sampel balok yang digunakan berukuran 15 x 15 x 55 cm dan komposisi ALWA berbahan *styrofoam* yang digunakan tergantung pada komposisi nilai kekuatan tekan yang optimum. Adapun langkah – langkah pengujiannya sebagai berikut :

1. Siapkan peralatan untuk uji lentur
2. Letakkan balok pada posisi simetris terhadap bearing block

3. Lakukan pembebanan dimana posisi balok tepat berada di tengah antara dua perletakan
4. Pembebanan dilakukan secara kontinu, lakukan sampai balok mengalami retak
5. Tentukan posisi retak pada balok



Gambar 3.7 Permodelan Uji Lentur

Kekuatan lentur dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

1. Retak terjadi pada daerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah)

$$\sigma_{\text{lentur}} = \frac{PL}{bd^2} \quad (3-20)$$

2. Retak terjadi diluar daerah pusat, dan jarak antara titik pusat dan titik retak kurang dari 5%

$$\sigma_{\text{lentur}} = \frac{Pa}{bd^2} \quad (3-21)$$

Dimana :

σ_{lentur} = tegangan lentur (Mpa)

P = beban maksimum yang terjadi (N)

L = panjang bentang (m)

b = lebar specimen

d = tinggi specimen

a = jarak rata – rata dari garis kerumtuhan dan titik perletakan terdekat, diukur pada bagian tarik specimen

3.10 Analisis Hasil Pengujian

Setelah dilakukan pengujian dan memperoleh data, kemudian diAnalisis dan dibandingkan sesuai dengan persyaratan.

3.11 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka didapat pengaruh tiap prosentase campuran ALWA berbahan *styrofoam* terhadap besarnya kekuatan tekan beton, modulus elastisitas, kekuatan tarik belah dan kekuatan lentur. Dari penelitian ALWA berbahan *styrofoam*, didapat komposisi optimal sesuai dengan tujuan utama penelitian yang berdasar pada nilai kekuatan tekan beton tertinggi. Tahap selanjutnya setelah analisis dan pembahasan maka dari keseluruhan penelitian ditarik kesimpulan serta saran.

BAB 4

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil penelitian yang terdiri dari hasil pengujian material dan pengujian silinder beton. Pengujian silinder beton meliputi, kekuatan tekan, modulus elastisitas, kekuatan tarik belah dan kekuatan lentur. Data yang diperoleh dari hasil pengujian kemudian dianalisis dan ditarik kesimpulan.

4.2 Hasil Analisis Material

4.2.1 Pengujian Semen

4.2.1.1 Konsistensi Normal Semen *Portland* (ASTM C187-04)

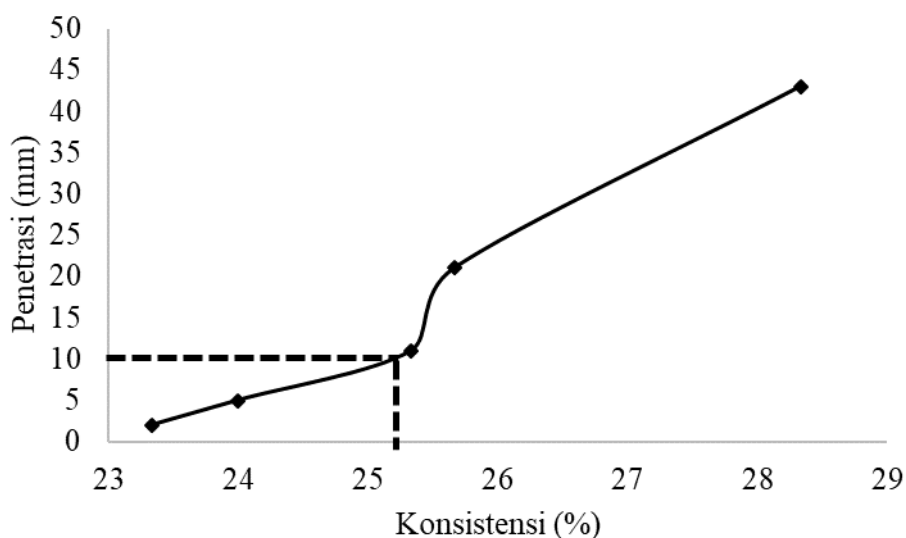
Pengujian konsistensi normal semen terbagi menjadi dua yaitu pengujian konsistensi normal untuk semen OPC dan pengujian konsistensi normal untuk semen PPC. Adapun hasil dari penhujian dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2

Tabel 4.1 Konsistensi normal semen OPC

Pengujian	satuan	Pengujian nomor				
		1	2	3	4	5
Berat Semen	gr	300	300	300	300	300
Berat Air	gr	85	77	76	72	70
Penetrasi	mm	43	21	11	5	2
Konsistensi	%	28.33	25.67	25.33	24.00	23.33

Pengujian konsistensi normal untuk semen OPC sebanyak lima kali, dimana pengujian pertama menghasilkan konsistensi sebesar 28.33%, pengujian kedua sebesar 25.67%, pengujian ketiga sebesar 25.33%, pengujian keempat sebesar 24.00% dn pengujian kelima sebesar 23.33%.

Selain itu, untuk mencari nilai konsistensi normal dengan nilai penetrasi 10 mm, tarik garis horizontal ke kanan sejajar sumbu konsistensi. Setelah itu, pada titik potong garis tersebut dengan grafik penetrasi-konsistensi, tarik garis vertikal ke bawah sejajar sumbu penetrasi sehingga akan di peroleh nilai konstensi normal sebesar 25.11%.



Gambar 4.1 Grafik Konsistensi Semen OPC

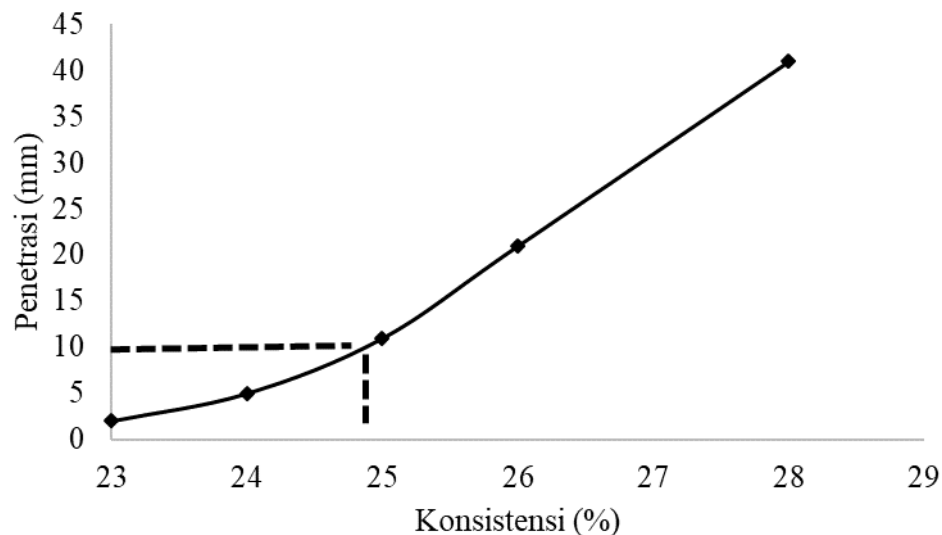
Berdasarkan ASTM C187 untuk semen seberat 300 gram mempunyai konsistensi normal sebesar 0.3. Namun dari pengujian yang dilakukan diperoleh nilai konsistensi sebesar 0.25 oleh karena itu semen yang diunakan memenuhi syarat.

Tabel 4.2 Konsistensi Normal Semen PPC

Pengujian	Satuan	Pengujian Nomor				
		1	2	3	4	5
Berat Semen	gr	300	300	300	300	300
Berat Air	gr	84	78	75	72	69
Penetrasi	mm	41	21	11	5	2
Konsistensi	%	28	26	25	24	23

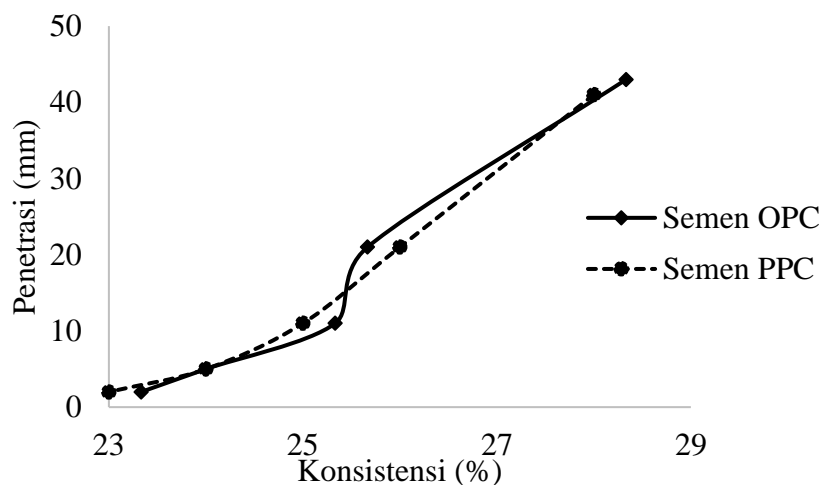
Berdasarkan Tabel 4.2 didapatkan nilai konsistensi normal untuk semen PPC berturut – turut sebesar 28 %, pengujian kedua sebesar 26%, pengujian ketiga sebesar 25%, pengujian keempat sebesar 24% dan pengujian kelima sebesar 23%.

Selain itu, untuk mendapatkan nilai konsistensi normal dengan nilai penetrasi 10 mm, tarik garis horizontal ke kanan sejajar sumbu konsistensi. Setelah itu, pada titik potong garis tersebut dengan grafik penetrasi-konsistensi, tarik garis vertikal ke bawah sejajar sumbu penetrasi sehingga akan di peroleh nilai konstensi normal sebesar 24.83%.



Gambar 4.2 Grafik Konsistensi Semen PPC

Berdasarkan Gambar 4.2 didapatkan nilai konsistensi normal semen PPC sebesar 24.83%. Menurut ASTM C187 untuk semen seberat 300 gram mempunyai konsistensi normal sebesar 0.3. sehingga dapat disimpulkan smen yang digunakan memenuhi syarat.



Gambar 4.3 Grafik Konsistensi Semen OPC dan Semen PPC

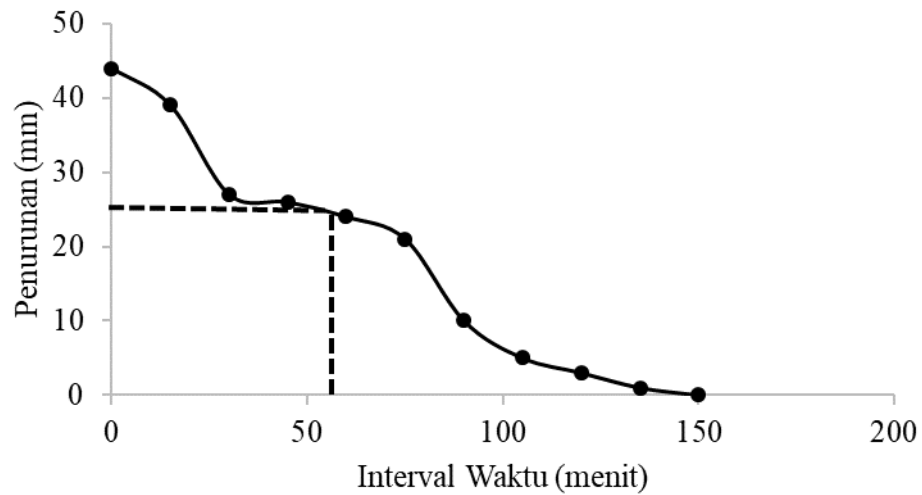
Berdasarkan Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan konsistensi normal antara semen OPC dan semen PPC. Nilai konsistensi normal ketika penetrasi 10 mm untuk semen OPC 25.11%, sedangkan untuk semen PPC 24.83%.

4.2.1.2 Waktu Mengikat Dan Mengeras Semen (ASTM C191-08)

Pengujian waktu ikat dan mengeras semen terbagi menjadi dua yaitu untuk semen OPC dan semen PPC. Adapun hasil pengujian bisa dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4

Tabel 4.3 waktu ikat dan mengeras semen OPC

Pukul	Interval Waktu	Penurunan
	menit	mm
10.45	0	44
11.00	15	39
11.15	30	27
11.30	45	26
11.45	60	24
12.00	75	21
12.15	90	10
12.30	105	5
12.45	120	3
13.00	135	1
13.15	150	0

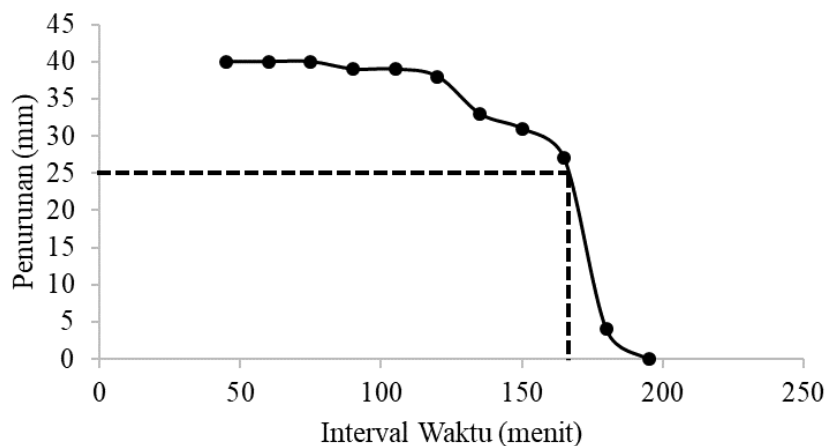


Gambar 4.4 Grafik Waktu Mengikat dan Mengeras Semen OPC

Berdasarkan Tabel 4.3 dan Gambar 4.4 didapatkan penurunan 25 mm terjadi pada interval 53 menit. Selain itu untuk waktu akhir pada percobaan diatas pada penurunan 0 mm terjadi pada interval 150 menit.

Tabel 4.4 waktu ikat dan mengeras semen PPC

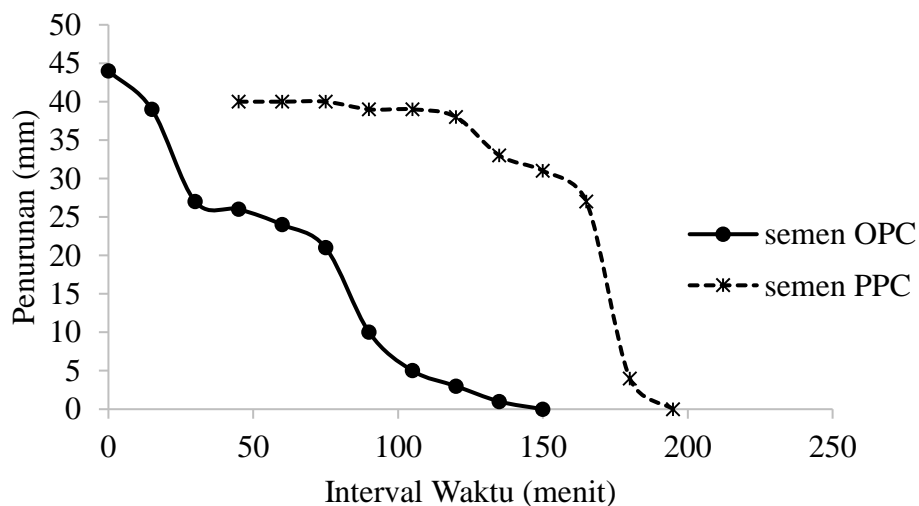
Pukul	Interval Waktu	Penurunan
	menit	mm
10.45	45	40
11.00	60	40
11.15	75	40
11.30	90	39
11.45	105	39
12.00	120	38
12.15	135	33
12.30	150	31
12.45	165	27
13.00	180	4
13.15	195	0



Gambar 4.5 Grafik Waktu Mengikat dan Mengeras Semen PPC

Berdasarkan Tabel 4.4 dan Gambar 4.5 didapatkan penurunan 25 mm terjadi pada interval 166 menit. Selain itu untuk waktu akhir pada percobaan diatas pada penurunan 0 mm terjadi pada interval 190 menit.

ASTM C150 menyatakan bahwa waktu setting untuk semen Portland adalah minimal 45 menit dan maksimal 375 menit. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semen OPC dan semen PPC yang digunakan memenuhi syarat.



Gambar 4.6 Grafik Waktu Mengikat dan Mengeras Semen OPC dan Semen PPC

Terdapat perbedaan waktu ikat dan mengeras antara semen OPC dan PPC. Semen OPC lebih cepat mengeras daripada semen PPC. Hal ini dapat terlihat dari waktu ikat awal dan waktu ikat akhir dari semen. Waktu ikat awal semen OPC pada menit ke-45 dan waktu ikat akhir dimenit ke-150, sedangkan untuk semen PPC waktu ikat awal terjadi dimenit ke-166 dan waktu ikat akhir dimenit ke-190.

4.2.1.3 Berat Jenis Semen (ASTM C188-95)

Hasil pengujian berat jenis semen bisa dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6

Tabel 4.5 berat jenis semen OPC

Pengujian	satuan	Hasil	
		1	2
Berat PC	gram	250	250
Berat PC + Minyak + Labu Takar	gram	738.24	739.35
Berat Labu Takar + Minyak	gram	553	553
Berat Jenis	gram/cm ³	3.09	3.14
Rata - rata	gram/cm ³	3.12	

Tabel 4.6 berat jenis semen PPC

Pengujian	satuan	Hasil	
		1	2
Berat PC	gram	250	250
Berat PC + Minyak + Labu Takar	gram	735	750
Berat Labu Takar + Minyak	gram	551.5	563.7
Berat Jenis	gram/cm ³	3.01	3.14
Rata - rata	gram/cm ³	3.07	

Berdasarkan Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 didapatkan rata – rata nilai untuk semen OPC sebesar 3.12 gram/cm³ dan rata- rata untuk semen PPC sebesar 3.07 gram/cm³.

4.2.2 Pengujian Agregat Halus / Pasir

4.2.2.1 Kadar Air Pasir (ASTM C 566-97 Reapp. 04)

Hasil Pengujian kadar air agregat halus bisa dilihat pada Tabel

4.7

Tabel 4.7 Kadar Air Agregat Halus

Pengujian	Satuan	Hasil	
		1	2
Berat Pasir Asli (W_1)	gram	500	500
Berat Pasir Setelah di Oven (W_2)	gram	477.75	476.89
Kelembaban Pasir (%)	%	4.66	4.85
Rata - rata	%	4.75	

Berdasarkan tabel hasil pengujian di atas didapatkan besarnya kelembaban agregat halus rata – rata sebesar 4.75 %. Menurut ASTM C-566-97 kelembaban pasir benar – benar kering apabila mencapai angka kurang dari 0.1 %, sehingga dapat disimpulkan pasir yang digunakan belum benar – benar kering.

4.2.2.2 Berat Jenis Pasir (ASTM C128- 01)

Hasil Pengujian berat jenis agregat halus bisa dilihat pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Berat Jenis Agregat Halus

Pengujian	Satuan	Hasil	
		1	2
Berat Labu + pasir + air (W_1)	gram	957.7	957.7
Berat Pasir SSD	gram	500	500
Berat Labur + air (W_2)	gram	645.79	644.68
Berat Jenis SSD	gram/cm ³	2.66	2.67
Rata - rata	gram/cm ³	2.67	

Menurut ASTM C-128-01 berat jenis yang disyaratkan antara 2.4 sampai 2.7. Hasil pengujian pada Tabel 4.8 diperoleh berat jenis rata- rata sebesar 2.67 kg/cm³, sehingga dapat disimpulkan bahwa pasir yang digunakan sudah memenuhi persyaratan.

4.2.2.3 Air Resapan Agregat Halus (ASTM C128- 01)

Hasil Pengujian air resapan agregat halus bisa dilihat pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Air Resapan Agregat Halus

Pengujian	Satuan	Hasil	
		1	2
Berat pasir kering oven	gram	492.17	492.23
Berat pasir dalam kondisi SSD	gram	500	500
<i>Absorption</i>	%	1.59	1.58
Rata - rata	%	1.58	

Berdasarkan Tabel 4.9 di atas didapatkan kadar air agregat halus rata – rata sebesar 1.58 %. Menurut ASTM C-128-01 berat jenis yang disyaratkan antara 1 % sampai 4 %, sehingga dapat disimpulkan agregat halus yang digunakan sudah memenuhi persyaratan.

4.2.2.4 Berat Volume Agregat Halus (ASTM C29 / 29M – 97 Reapp. 03)

Pengujian berat volume agregat halus terbagi menjadi dua yaitu pengujian berat volume dengan dirojok dan tanpa dirojok. Hasil pengujian berat volume bisa dilihat pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11

Tabel 4.10 Berat Volume Agregat Halus Tanpa Rojokan

Pengujian	Satuan	Tanpa Rojokan	Tanpa Rojokan
Berat silinder	kg	3.9	3.9
berat silinder + Pasir	kg	7.91	7.84
Berat Pasir	kg	4.01	3.94
Volume silinder	m ³	0.003	0.003
Berat volume	kg/m ³	1336.67	1313.33
Rata - rata	kg/m ³	1325	

Tabel 4.11 Berat Volume Agregat Halus dengan Rojokan

Pengujian	Satuan	Dengan Rojokan	Dengan Rojokan
Berat silinder	kg	3.9	3.9
berat silinder + Pasir	kg	8.35	8.37
Berat Pasir	kg	4.45	4.47
Volume silinder	m ³	0.003	0.003
Berat volume	kg/m ³	1483.67	1491.00
Rata - rata	kg/m ³	1487.33	

Berdasarkan Tabel 4.10 dan Tabel 4.11 didapatkan rata – rata nilai berat volume tanpa rojokan dan dengan rojokan berturut sebesar 1325 kg/m³ dan 1487.33 kg/m³

4.2.2.5 Kebersihan Terhadap Bahan Organik (ASTM C40-04)

Hasil Pengujian kebersihan agregat halus terhadap bahan organik bisa dilihat pada Tabel 4.12

Tabel 4.12 kebersihan Agregat Halus terhadap bahan organik

Pengujian	Satuan	Hasil	
		1	2
Volume Pasir	ml	130	130
Larutan NaOH	ml	100	100
Warna yang timbul		No.3 (kuning bening)	No.3 (kuning bening)



Gambar. 4.7 Kebersihan Pasir terhadap Bahan Organik

Warna hasil dari pengujian kebersihan pasir terhadap bahan organik berdasarkan ASTM C 40-04 harus tidak lebih tua dari warna zat pembanding yaitu NaOH. Untuk mengetahui warna yang dihasilkan, digunakan standar warna *organic plate*. Berdasarkan Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa warna yang timbul berupa kuning bening dan masuk dalam kategori no.3, hal ini menunjukkan pasir yang digunakan tidak mengandung zat organik yang berbahaya dan memenuhi persyaratan yang telah ditentukan.

4.2.2.6 Kadar Lumpur Pasir (ASTM C117-03)

Hasil Pengujian kadar lumpur pasir bisa dilihat pada Tabel 4.13

Tabel 4.13 Kadar Lumpur Pasir

Pengujian	Satuan	Hasil	
		1	2
Berat Pasir sebelum dicuci	gr	500	500
Berat Pasir sebelum setelah dicuci	gr	482.1	482.25
Kadar Lumpur	%	3.58	3.55
Rata - rata	%	3.57	

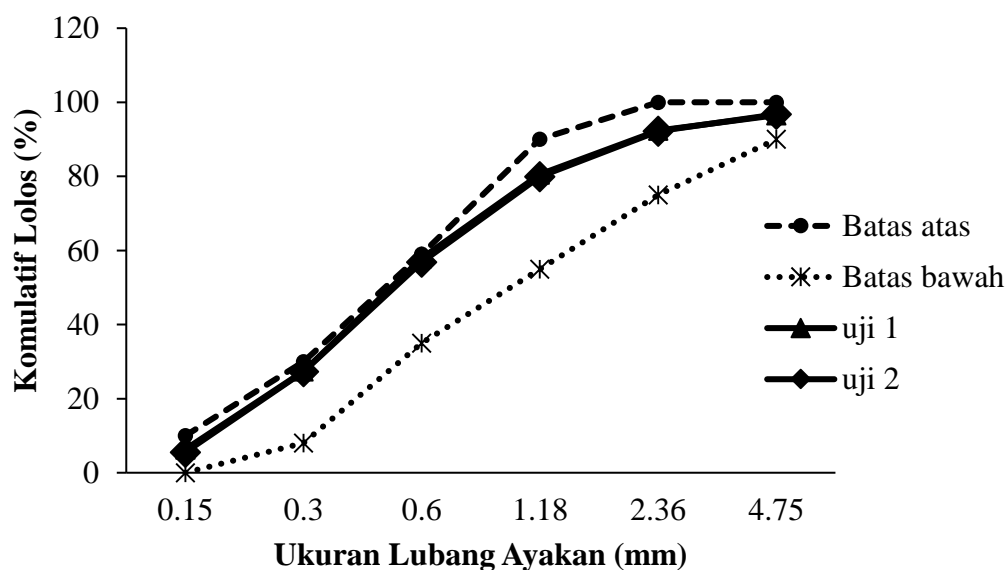
Berdasarkan tabel hasil pengujian di atas didapatkan kadar lumpur agregat halus rata – rata sebesar 3.57%. Menurut ASTM C117-03 kadar lumpur yang disyaratkan kurang dari 5%, sehingga dapat disimpulkan agregat halus yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.2.2.7 Analisis Saringan Pasir (ASTM C136-01)

Hasil Pengujian analisis saringan pasir bisa dilihat pada Tabel 4.14

Tabel 4.14 Analisis Hasil Saringan

Ayakan	Uji 1				Uji 2			
	Tertahan		Kumulatif		Tertahan		Kumulatif	
	gram	%	Tertahan (%)	Lolos (%)	gram	%	Tertahan (%)	Lolos (%)
No. 4 (4.75 mm)	34.80	3.48	3.48	96.52	32.50	3.25	3.25	96.75
No. 8 (2.36 mm)	41.40	4.14	7.62	92.38	45.10	4.51	7.76	92.24
No. 16 (1.18 mm)	118.00	11.80	19.42	80.58	123.50	12.35	20.11	79.89
No. 30 (0.6 mm)	226.60	22.66	42.08	57.92	230.40	23.04	43.15	56.85
No. 50 (0.3 mm)	305.70	30.57	72.65	27.35	295.20	29.52	72.67	27.33
No. 100 (0.15 mm)	210.30	21.03	93.68	6.32	217.80	21.78	94.45	5.55
PAN	63.20	6.32	100.00	0.00	55.50	5.55	100.00	0.00
Jumlah	1000	100	238.93		1000	100	241.39	
FM			2.39				2.41	



Gambar 4.8 Grafik Analisis Saringan Pasir

Berdasarkan tabel dan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa pasir yang digunakan termasuk kategori zona II yaitu pasir dengan kategori sedang. Pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa pasir masuk dalam lengkung ayakan sesuai yang disyaratkan ASTM C-136-01. Nilai modulus kehalusan (FM) dari hasil pengujian

adalah sebesar 2.4. Menurut SII-0052-80 nilai modulus kehalusan sudah memenuhi persyaratan karena tidak kurang dari 1.5 dan tidak lebih dari 3.38

4.2.3 Pengujian Agregat Kasar (Batu Pecah)

4.2.3.1 Kadar Air Agregat Kasar / Batu Pecah (ASTM C 566-97 Reapp. 04)

Hasil Pengujian kadar air batu pecah bisa dilihat pada Tabel 4.15

Tabel 4.15 Kadar Air Batu Pecah

Pengujian	Satuan	Hasil	
		1	2
Berat Batu pecah Asli (W1)	gram	500	500
Berat Batu pecah Setelah di Oven (W2)	gram	496.7	496.5
Kelembaban Batu pecah (%)	%	0.66	0.70
Rata – rata	%	0.68	

Syarat untuk nilai kelembaban yang ditetapkan oleh ASTM C566 adalah tidak boleh kurang dari 0.1%. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.15, nilai kelembaban rata-rata adalah sebesar 0.68%. Sehingga dapat disimpulkan kelembaban pada batu pecah sudah memenuhi syarat yang telah ditetapkan.

4.2.3.2 Berat Jenis Batu Pecah (ASTM C127- 01)

Hasil Pengujian kadar air batu pecah bisa dilihat pada Tabel 4.16

Tabel 4.16 Berat Jenis Batu Pecah

Pengujian	Satuan	Hasil	
		1	2
Berat bejana + Batu pecah + air (W1)	gram	1178	1175
Berat Batu pecah SSD	gram	1000	1000
Berat cawan + air (W2)	gram	550	550
Berat Jenis SSD	gram/cm ³	2.69	2.67
Rata – rata	gram/cm ³	2.68	

Syarat yang ditentukan oleh ASTM C127 untuk berat jenis batu pecah

adalah sebesar 2.4 sampai 2.7 . berdasarkan hasil pengujian, diperoleh berat jenis rata-rata sebesar 2.68 gram/cm³. Sehingga, berat jenis yang diperoleh dari hasil pengujian sudah memenuhi persyaratan.

4.2.3.3 Air Resapan Batu Pecah (ASTM C127- 01)

Hasil Pengujian kadar air batu pecah bisa dilihat pada Tabel 4.17

Tabel 4.17 Air Resapan Batu Pecah

Pengujian	Satuan	Hasil	
		1	2
Berat Batu pecah kering oven	gram	989.2	989.5
Berat Batu pecah dalam keadaan kering permukaan jenuh SSD	gram	1000	1000
<i>Absorption</i>	%	1.09	1.06
Rata – rata	%	1.08	

Berdasarkan hasil pengujian air resapan, diperoleh penyerapan sebesar 1.08%. Nilai tersebut sudah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan oleh ASTM C 127 karena tidak lebih dari 2%.

4.2.3.4 Berat Volume Agregat Kasar (ASTM C29 / 29M – 97 Reapp. 03)

Hasil Pengujian berat volume batu pecah bisa dilihat pada Tabel 4.18 dan Tabel 4.19

Tabel 4.18 Berat Volume Batu Pecah dengan Rojokan

Pengujian	Satuan	Dengan Rojokan	Dengan Rojokan
Berat silinder	kg	3.9	3.9
berat silinder + Batu pecah	kg	8.45	8.43
Berat Batu pecah	kg	4.55	4.53
Volume silinder	m ³	0.003	0.003
Berat volume	kg/m ³	1516.67	1510
Rata – rata	kg/m ³	1513.33	

Tabel 4.19 Berat Volume Batu Pecah tanpa Rojokan

Pengujian	Satuan	Tanpa Rojokan	Tanpa Rojokan
Berat silinder	kg	3.9	3.9
berat silinder + Batu pecah	kg	7.85	7.81
Berat Batu pecah	kg	3.95	3.91
Volume silinder	m ³	0,003	0,003
Berat volume	kg/m ³	1316.67	1303.33
Rata – rata	kg/m ³	1310	

Berat volume rata-rata batu pecah dengan rojokan sebesar 1513.33 kg/m³ sedangkan berat volume rata-rata batu pecah tanpa rojokan sebesar 1310 kg/m³.

4.2.3.5 Kadar Lumpur (C33-03)

Hasil Pengujian kadar lumpur batu pecah bisa dilihat pada Tabel 4.20

Tabel 4.20 Kadar Lumpur Batu Pecah

Pengujian	Satuan	Hasil	
		1	2
Berat Batu pecah sebelum dicuci	gr	1000	1000
Berat Batu pecah sebelum setelah dicuci	gr	997.1	996.7
Kadar Lumpur	%	0.29	0.33
Rata - rata	%	0.31	

Kadar lumpur rata-rata dari hasil pengujian adalah sebesar 0.31%. nilai kadar lumpur yang ditetapkan ASTM C33-03 kurang dari 1%. Sehingga, hasil pengujian kadar lumpur sudah memenuhi syarat yang telah ditentukan.

4.2.3.6 Keausan Batu Pecah (C131-03)

Hasil Pengujian keausan batu pecah bisa dilihat pada Tabel 4.21

Tabel 4.21 Keausan Batu Pecah

Pengujian	Satuan	Hasil	
		1	2
Berat sebelum diabrasi	gr	5000	5000
berat setelah diabrasi	gr	3961.7	3962.8
Keausan	%	20.77	20.74
Rata – rata	%	20.76	

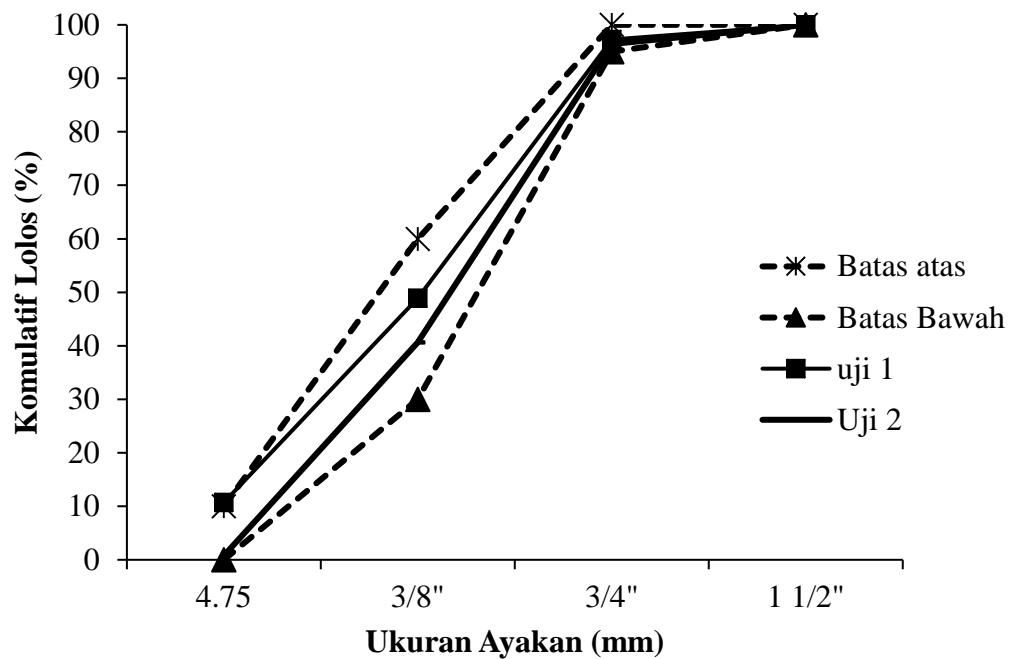
Menurut ASTM C131-03 tingkat keausan batu pecah tidak boleh lebih dari 35%. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.18 diperoleh nilai keausan sebesar 20.76%. hasil tersebut menunjukkan bahwa tingkat keausan yang diperoleh sudah memenuhi persyaratan.

4.2.3.7 Analisis Saringan Batu Pecah (ASTM C1336-01)

Hasil Pengujian analisis saringan batu pecah bisa dilihat pada Tabel 4.22

Tabel 4.22 Analisis Saringan Batu Pecah

Ayakan	Uji 1				Uji 2			
	Tertahan		Kumulatif		Tertahan		Kumulatif	
	Gram	%	Tertahan (%)	Lolos (%)	Gram	%	Tertahan (%)	Lolos (%)
1 1/2"	0	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	38.23	3.82	3.82	96.18	35.7	3.57	3.57	96.43
3/8"	567.32	56.73	60.56	39.45	557.9	55.79	59.36	40.64
No. 4 (4.75 mm)	394.45	39.45	100.00	0.00	406.4	40.64	100.00	0.00
No. 8	0	0.00	100.00	0.00	0	0.00	100.00	0.00
No. 16	0	0.00	100.00	0.00	0	0.00	100.00	0.00
No. 30	0	0.00	100.00	0.00	0	0.00	100.00	0.00
No. 50	0	0.00	100.00	0.00	0	0.00	100.00	0.00
No. 100	0	0.00	100.00	0.00	0	0.00	100.00	0.00
PAN	0	0.00			0	0.00		
Jumlah	1000	100	664.38	-	1000	100	662.93	-
FM	6.64				6.63			



Gambar 4.9 Analisis Saringan Batu Pecah

Berdasarkan Gambar 4.9 batu pecah yang digunakan masuk dalam zona gradasi batu pecah untuk ukuran maksimum 20 mm. Sehingga sudah sesuai dengan yang disyaratkan ASTM C-136-01. Nilai modulus kehalusan (FM) rata-rata dari hasil pengujian pada Tabel 4.22 adalah sebesar 6.635. Menurut SII-0052-80 modulus kehalusan sudah memenuhi persyaratan karena tidak kurang dari 6.0 dan tidak lebih dari 7.1.

4.2.4 Pengujian Agregat Kasar (ALWA)

4.2.4.1 Berat Volume ALWA berbahan *Styrofoam*

Hasil Pengujian berat volume ALWA berbahan *Styrofoam* bisa dilihat pada Tabel 4.23 dan Tabel 4.24

Tabel 4.23 Berat Volume ALWA tanpa Rojokan

Pengujian	Satuan	Tanpa Rojokan	Tanpa Rojokan
Berat silinder (W1)	kg	3.89	3.89
Berat silinder + ALWA (W2)	kg	5.03	5.04
Volume silinder (V)	m ³	0.003	0.003
Berat batu belah	kg	1.14	1.15
Berat volume	kg/m ³	381.33	382.33
Rata - rata	kg/m ³	381.83	

Tabel 4.24 Berat Volume ALWA berbahan *Styrofoam* dengan Rojokan

Pengujian	Satuan	Dengan Rojokan	Dengan Rojokan
Berat silinder (W1)	kg	3.89	3.89
Berat silinder + ALWA (W2)	kg	5.15	5.14
Volume silinder (V)	m ³	0.003	0.003
Berat batu belah	kg	1.26	1.25
Berat volume	kg/m ³	418.67	418.00
Rata - rata	kg/m ³	418.33	

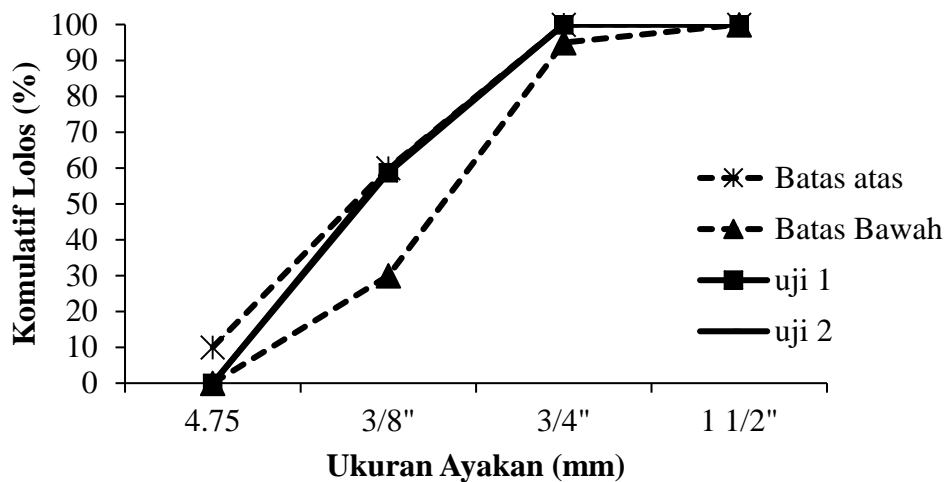
Berdasarkan Tabel 4.23 dan Tabel 4.24 didapatkan berat volume ALWA berbahan *styrofoam* tanpa rojokan sebesar 381.83 kg/m³ sedangkan dengan rojokan sebesar 418.33 kg/m³

4.2.4.2 Analisis Saringan ALWA berbahan *Styrofoam*

Hasil Pengujian analisis saringan ALWA berbahan *styrofoam* bisa dilihat pada Tabel 4.25

Tabel 4.25 Analisis Saringan ALWA berbahan *Styrofoam*

Ayakan	Uji 1				Uji 2			
	Tertahan		Komulatif		Tertahan		Komulatif	
	Gram	%	Tertahan (%)	Lolos (%)	Gram	%	Tertahan (%)	Lolos (%)
1 1/2"	0	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	0	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
3/8"	97	41.28	41.28	58.72	95	40.43	40.43	59.57
No. 4 (4.75 mm)	138	58.72	100.00	0.00	140	59.57	100.00	0.00
No. 8	0	0.00	100.00	0.00	0	0.00	100.00	0.00
No. 16	0	0.00	100.00	0.00	0	0.00	100.00	0.00
No. 30	0	0.00	100.00	0.00	0	0.00	100.00	0.00
No. 50	0	0.00	100.00	0.00	0	0.00	100.00	0.00
No. 100	0	0.00	100.00	0.00	0	0.00	100.00	0.00
PAN	0	0.00			0	0.00		
Jumlah	235	100.00	641.28	-	235	100.00	640.43	-
FM	6.41				6.40			



Gambar 4.10 Analisis Saringan ALWA berbahan *Styrofoam*

Berdasarkan Gambar 4.10 ALWA berbahan *styrofoam* yang digunakan masuk dalam zona gradasi agregat untuk ukuran maksimum 20 mm. Sehingga sudah sesuai dengan yang disyaratkan ASTM C-136-01. Nilai modulus kehalusan (FM) rata-rata dari hasil pengujian pada Tabel 4.25 adalah sebesar 6.41. Hasil modulus kehalusan sudah memenuhi persyaratan karena tidak kurang dari 6 dan tidak lebih dari 6.9.

4.2.4.3 Berat Jenis ALWA bebahan *Styrofoam*

Hasil Pengujian berat Jenis ALWA berbahan *Styrofoam* bisa dilihat pada Tabel 4.26

Tabel 4.26 Berat Jenis ALWA

Pengujian	Satuan	Hasil	
		1	2
Berat Sampel Kering Permukaan Jenis, SSD (BJ)	gr	25	25
Berat Bejana + ALWA + air (W1)	gr	1787	1788
Berat bejana + air (W2)	gr	1796	1796
Berat Jenis SSD	gr/cm ³	0.74	0.76
Rata - rata	gr/cm ³	0.75	

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis ALWA didapatkan berat jenis rata-rata sebesar 0.75 gr/cm³.

4.2.4.4 Pengujian *Impact* ALWA berbahan *Styrofoam* (BSI 812-112:1990)

Hasil Pengujian *impact* ALWA berbahan *Styrofoam* bisa dilihat pada Tabel 4.27

Tabel 4.27 *Impact* ALWA

Pengujian	Satuan	Hasil	
		1	2
Bertat Wadah	gr	3065	3065
Berat wadah + ALWA	gr	3275	3275
Tertahan ayakan no.8	gr	203.80	204.50
Impact	%	2.95	2.62
Rata - rata	%	2.79	

Berdasarkan hasil pengujian *impact* didapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 2.79%

4.3 Mix Design Beton

Pada penelitian ini mix design menggunakan beton OPC dan Beton PPC disamakan, hal ini dilakukan untuk mempermudah pelaksanaan dan mengetahui perbedaan antara semen OPC dan PPC. Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode DOE.

Berikut ini merupakan mix design beton OPC dan beton PPC per 1m³

Tabel 4.28 Mix design Beton OPC dan PPC per 1m³

Material	Satuan	Berat
Semen	Kg/m ³	700
Air	Kg/m ³	210
Agregat Halus (Pasir)	Kg/m ³	547
Agregat Kasar (Batu Pecah)	Kg/m ³	931

Tabel 4.29 Mix Design dengan Prosentase ALWA yang Berbeda tiap Silinder 100 x 200 mm

Prosentase ALWA (%)	Berat (Kg)				
	Semen	Air	Agregat Halus (Pasir)	Agregat Kasar (Batu Pecah)	Agregat Kasar (ALWA)
0	1.10	0.33	0.86	1.46	0.00
15	1.10	0.33	0.86	1.24	0.06
50	1.10	0.33	0.86	0.73	0.18
100	1.10	0.33	0.86	0.00	0.37

Tabel 4.30 Mix Design untuk Balok 150 x 150 x 600 mm

Prosentase ALWA (%)	Berat (Kg)				
	Semen	Air	Agregat Halus (Pasir)	Agregat Kasar (Batu Pecah)	Agregat Kasar (ALWA)
15	9.45	2.84	7.38	10.68	0.72

4.4 Hasil Pengujian Slump Beton

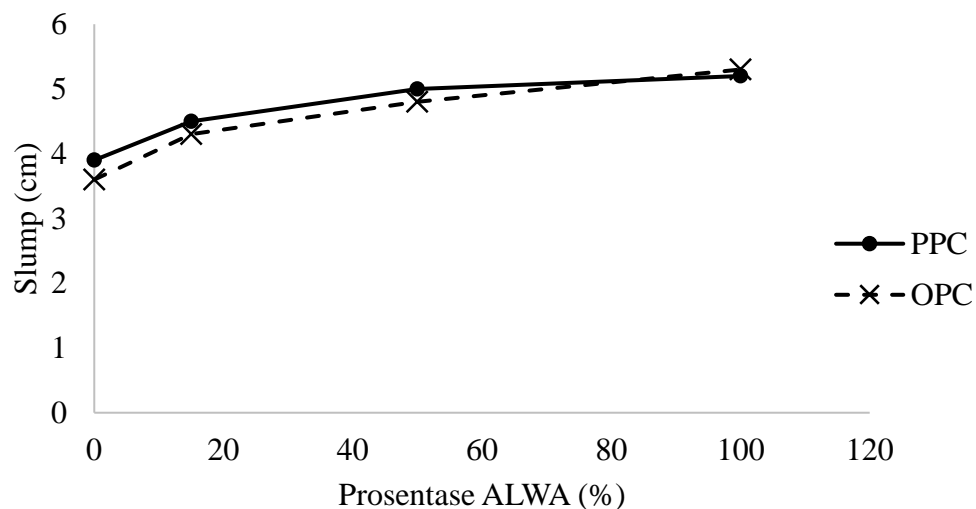
Pengujian Slump bertujuan untuk mengukur workability (kemudahan pengerjaan) dari campuran beton. Semakin tinggi nilai slump maka semakin mudah proses pengerjaan beton, hal ini dikarenakan campuran beton lebih mudah diaduk, diangkut, dituang dan dipadatkan. Dalam penelitian ini perencanaan slump yang digunakan berkisar 30-60 mm hal ini dilakukan untuk mempermudah pelaksanaan

dikarenakan ALWA berbahan limbah *Styrofoam* memiliki berat jenis kurang dari 1 gr/cm³

Tabel 4.31 Hasil uji Slump

Prosentase ALWA (%)	Slump	
	OPC (cm)	PPC (cm)
0	3.6	3.9
15	4.3	4.5
50	4.8	5.0
100	5.3	5.2

Berdasarkan Tabel 4.31 didapatkan masing – masing sampel dengan penggunaan nilai FAS yang sama setiap variasi campuran adukan beton, memiliki slup yang berbeda. Dari hasil penelitian nilai slump sudah memenuhi syarat dari mix design yang telah dibuat.



Gambar 4.11. Grafik Hubungan Slump dan Prosentase ALWA

Selain itu berdasarkan Gambar 4.11 semakin besar prosentase ALWA dengan jumlah air yang sama, maka semakin besar pula harga slump, sehingga dapat mempermudah pelaksanaan. Hal ini dikarenakan ALWA berbahan *Styrofoam* kedap air.

4.5 Berat Volume

Pengujian berat volume beton dibagi menjadi dua yaitu berat volume beton menggunakan semen PPC dan berat volume beton menggunakan semen OPC. Adapun pengujiannya dilakukan pada umur beton 28 hari. Hasil pengujian berat volume beton rata – rata dapat dilihat pada Tabel 4.32 dan Tabel 4.33

Tabel 4.32 Berat Volume Beton PPC

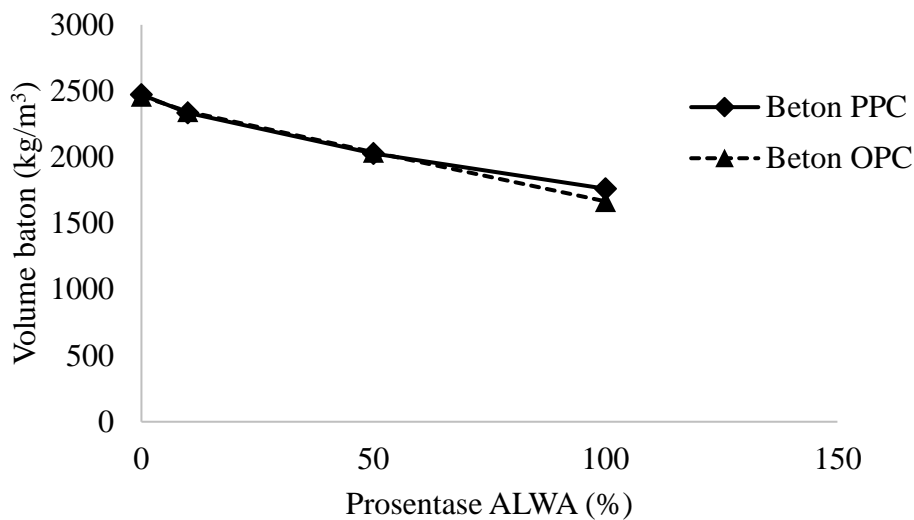
Kode benda Uji	Berat Benda uji (kg)	volume benda uji (m ³)	Berat Volume (kg/m ³)
BP 0	3.88	0.00157	2472.21
BP 15	3.67	0.00157	2334.27
BP 50	3.18	0.00157	2026.57
BP 100	2.77	0.00157	1761.31

Pengantian batu pecah dengan mensubstitusi ALWA berbahan *Styrofoam* dengan prosentase 15%, 50% dan 100% dapat menurunkan berat volume beton sebesar 6%, 18% dan 29%.

Tabel 4.33 Berat Volume Beton OPC

Kode benda Uji	Berat Benda uji (kg)	Volume benda uji (m ³)	Berat Volume (kg/m ³)
B0 0	3.87	0.00157	2461.60
B0 15	3.68	0.00157	2344.88
B0 50	3.20	0.00157	2037.18
B0 100	2.62	0.00157	1665.82

Berdasarkan table 4.33 pengantian batu pecah dengan mensubstitusi ALWA berbahan *Styrofoam* dengan prosentase 15%, 50% dan 100% dapat menurunkan berat volume beton sebesar 5%, 18% dan 33%.



Gambar 4.12 Hubungan Prosentase ALWA dan Volume beton

Berdasarkan Gambar 4.12 dapat disimpulkan bahwa semakin besar prosentase ALWA maka berat volume beton semakin kecil, hal ini dikarenakan berat volume ALWA berbahan *Styrofoam* lebih kecil bila dibandingkan dengan berat volume batu pecah.

Menurut SNI 2847:2013 menyatakan syarat untuk beton ringan sebesar 1840 kg/m^3 , sehingga dalam kasus ini yang masuk dalam kategori beton ringan adalah beton dengan prosentase ALWA 100% untuk beton PPC dan prosentase ALWA 100% untuk beton OPC.

4.6 Kekuatan Tekan Beton

Pengujian kekuatan tekan beton dilakukan pada usia beton 28 hari dan terdiri dari dua jenis yaitu beton menggunakan semen PPC dan beton menggunakan semen OPC. Setiap jenis beton terdiri dari empat variasi prosentase ALWA yaitu 0%, 15%, 50% dan 100%. Hasil pengujian kekuatan tekan beton bisa dilihat pada Tabel 4.34 dan Tabel 4.35

Tabel 4.34 Kekuatan Tekan Beton menggunakan Semen OPC

Kode Benda Uji		Beban (P_{\max})	Kekuatan Tekan (f'_c)	f'_c rata-rata
Nama	Kode	(kgf)	(Mpa)	(Mpa)
BO0	4	34152.37	43.48	43.05
	5	33467.25	42.61	
	6	25216.21	32.11*	
BO15	4	23549.32	29.98	28.06
	5	22166.02	28.22	
	6	20387.87	25.96	
BO50	4	14858.16	18.92	19.23
	5	14564.83	18.54	
	6	15879.11	20.22	
BO100	4	11030.26	14.04	13.61
	5	10604.51	13.50	
	6	10438.07	13.29	

*Diabaikan karena mempunyai kekuatan tekan yang jauh dan senjang

Penambahan prosentase ALWA berbahan *Styrofoam* dengan menggunakan semen OPC menurunkan kekuatan tekan (f'_c) beton secara signifikan, Penambahan prosentase ALWA berbahan *styrofoam* sebesar 15%, 50% dan 100% menurunkan kekuatan tekan berturut – turut sebesar 34.83%, 55.34% dan 68.38%. Selain itu nilai kekuatan tekan tertinggi dengan mensubstitusi agregat kasar (batu pecah) dengan penambahan ALWA berbahan *styrofoam* sebesar 15% dengan kekuatan tekan 28.06 MPa.

Tabel 4.35 Kekuatan Tekan Beton menggunakan Semen PPC

Kode Benda Uji		P_{\max}	f'_c	f'_c rata-rata
Nama	Kode	(kgf)	(Mpa)	(Mpa)
BP0	4	23264.28	29.62	28.65
	5	23447.65	29.85	
	6	20789.83	26.47	
BP15	4	19159.38	24.39	23.10
	5	16892.73	21.51	
	6	18376.58	23.40	
BP50	4	12151.81	15.47*	19.02
	5	14139.16	18.00	
	6	15742.85	20.04	
BP100	4	9854.38	12.55	12.52
	5	10383.48	13.22	
	6	9265.67	11.80	

*Diabaikan karena mempunyai kekuatan tekan yang jauh dan senjang

Berdasarkan Tabel 4.35 didapatkan nilai kekuatan tekan tertinggi dengan penambahan ALWA berbahan *styrofoam* yaitu dengan penambahan ALWA berbahan *styrofoam* sebesar 15% dengan kekuatan yang dihasilkan 23.10 MPa. Penambahan prosentase ALWA berbahan *Styrofoam* dengan menggunakan semen PPC menurunkan kekuatan tekan beton secara signifikan. Penambahan prosentase ALWA berbahan *styrofoam* sebesar 15%, 50% dan 100% menurunkan kekuatan tekan berturut – turut sebesar 19.37%, 33.6% dan 56.29%.

Pada Tabel 4.34 dan Tabel 4.35 terdapat nilai kekuatan tekan yang diabaikan hal ini dikarenakan memiliki kekuatan tekan yang jauh dan senjang dengan nilai kekuatan tekan lainnya dengan prosentase yang sama. Perbedaan tersebut terjadi akibat pemasangan capping yang miring pada permukaan benda uji dan mengakibatkan benda uji tidak menerima distribusi beban yang merata. Sehingga membentuk pola retak seperti yang terlihat pada gambar diawah ini.



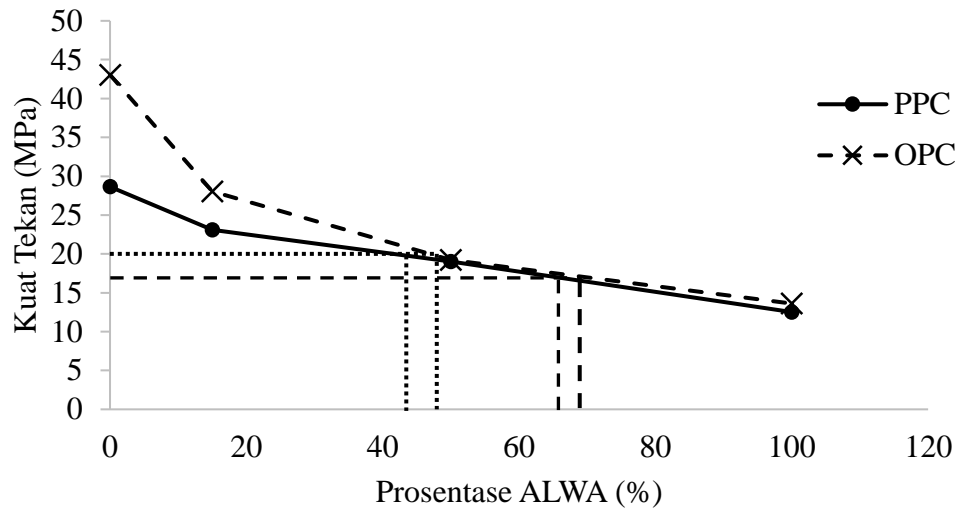
(a)



(b)

Gambar 4.13 Pola Keruntuhan Benda Uji (a) BO0-6 (b) BP50-4

Berdasarkan Gambar 4.13 dapat dilihat pola keruntuhan yang terjadi pada benda uji BO0-6 adalah *columnar* sedangkan pola keruntuhan yang terjadi pada benda uji BP50-4 adalah *shear*. Adapun grafik hubungan kekuatan tekan terhadap prosentase ALWA berbahan *Styrofoam* dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 4.14 Grafik Hubungan Kekuatan Tekan terhadap Prosentase ALWA

Berdasarkan Gambar 4.14 didapatkan penambahan prosentase ALWA berbahan *Styrofoam* mempengaruhi nilai kekuatan tekan beton. Semakin besar prosentase ALWA berbahan *styrofoam*, maka semakin kecil pula kekuatan tekan yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan pernyataan R. Irmawaty (2016). Penurunan ini disebabkan oleh permukaan ALWA berbahan *styrofoam* yang licin/halus sehingga sulit terikat dengan pasta semen beserta agregat lainnya.

Menurut SNI 2847:2013 syarat kekuatan tekan minimum untuk beton tahanan gempa sebesar 20 MPa dan 17 MPa untuk beton struktural. Sehingga berdasarkan Gambar 4.14 untuk meperoleh kekuatan tekan sebesar 20 MPa dibutuhkan prosentase ALWA berbahan *styrofoam* sebesar 46.93% untuk beton OPC dan 41.62% untuk beton PPC, sedangkan untuk memperoleh kekuatan tekan sebesar 17 MPa dibutuhkan prosentase ALWA berbahan *styrofoam* sebesar untuk beton 69.83% OPC dan 65.56% untuk beton PPC.

Nilai kekuatan tekan terbesar dengan penambahan ALWA berbahan *styrofoam* terdapat pada prosentase ALWA berbahan *styrofoam* sebesar 15% pada beton OPC dengn nilai kekuatan tekan 28.06 MPa. Selain itu nilai kekuatan tekan beton OPC lebih tinggi bila dibandingkan dengan beton OPC. Adapun perbedaan nilai kekuatan tekannya dengan prosentase ALWA berbahan *Styrofoam* 0%, 15%, 50% dan 100% berturut-turut sebesar 33.45%, 17.66%, 1.06% dan 8.01%.

Dari hasil analisis pengujian kekuatan tekan beton OPC dan beton PPC dengan variasi prosentase ALWA berbahan *styrofoam* diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\frac{f'_{ca}}{f'_{c}} = \left(1 + \frac{P_a}{100}\right)^c \quad (4.1)$$

dimana :

f'_{c} = Kekuatan tekan beton tanpa menggunakan ALWA

f'_{c}^* = Kekuatan tekan beton

P_a = Prosentase ALWA berbahan *styrofoam*

c = *curve factor*

namun pada Persamaan 4.1 pada beton OPC dan Persamaan 4.2 untuk beton PPC mengalami perbedaan nilai c yaitu sebagai berikut :

untuk beton OPC

$$c = \ln(x) - 6 \quad (4.2)$$

Untuk beton PPC

$$c = \ln(x) - 5 \quad (4.3)$$

dimana :

c = *curve factor*

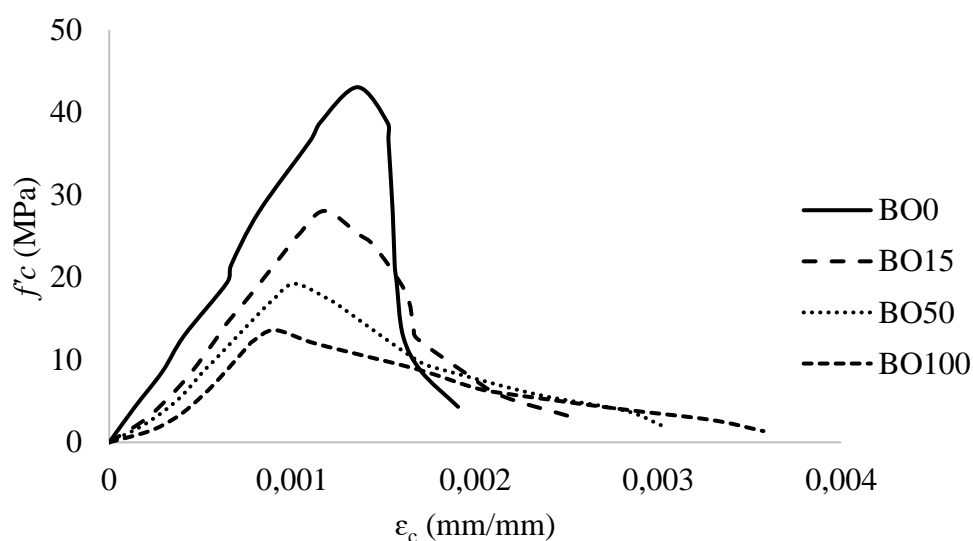
P_a = Prosentase ALWA berbahan *Styrofoam*

4.7 Hubungan Tegangan-Regangan

Pengujian tegangan-regangan tidak dilakukan pada seluruh benda uji, diambil 3 sampel dari setiap variasi prosentase ALWA berbahan *styrofoam*. Dalam penelitian ini, tegangan-regangan ditinjau untuk mengetahui perilaku beton dalam memikul beban. Menurut Hognestad (1951) beton mengalami keruntuhan saat $0.85f'_{c}$ dengan regangan setelah puncak, sedangkan menurut Kent dan Park (1971) beton mengalami keruntuhan saat $0.5f'_{c}$. Sehingga, untuk menentukan keruntuhan beton nilai regangan yang diambil adalah saat $0.85f'_{c}$ dan $0.5f'_{c}$ setelah regangan puncak. Hubungan tegangan-regangan menggunakan ALWA berbahan *Styrofoam* dapat dilihat pada Tabel 4.36 dan Tabel 4.37.

Tabel 4.36 Hubungan tegangan-regangan pada beton OPC

kode benda uji	$f'_{c_{max}}$ (MPa)	ϵ_c (mm/mm)	$0.5 f'_c$ (MPa)	$\epsilon_{0.5f'_c}$ (mm/mm)	$0.85 f'_c$ (MPa)	$\epsilon_{0.85f'_c}$ (mm/mm)
BO0	43.05	0.00136	9.61	0.00156	36.59	0.00153
BO15	28.06	0.00118	14.03	0.00166	23.85	0.00145
BO50	19.23	0.00101	9.61	0.00171	16.34	0.00127
BO100	13.61	0.00090	6.81	0.00197	11.57	0.00120

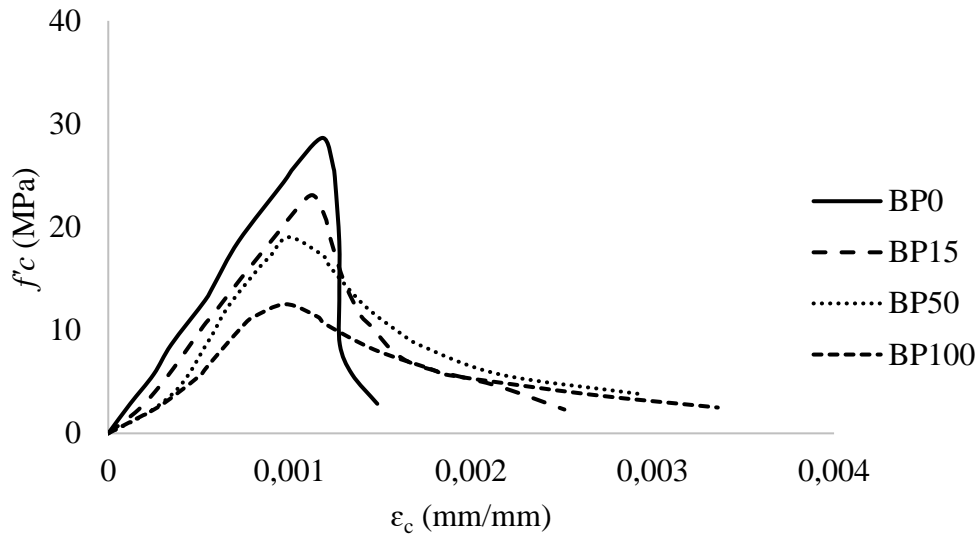


Gambar 4.15 Hubungan tegangan regangan Beton OPC

Berdasarkan Gambar 4.15 dapat dilihat bahwa penambahan ALWA berbahan *Styrofoam* sebesar 15%, 50% dan 100% dapat meningkatkan nilai regangan berturut-turut untuk tegangan $0.5f'_c$ sebesar 7%, 10%, dan 26% dari beton OPC tanpa ALWA berbahan *Styrofoam*.

Tabel 4.37 Hubungan tegangan-regangan pada beton PPC

kode benda uji	$f'_{c_{max}}$ (MPa)	ϵ_c (mm/mm)	$0.5 f'_c$ (MPa)	$\epsilon_{0.5f'_c}$ (mm/mm)	$0.85 f'_c$ (MPa)	$\epsilon_{0.85f'_c}$ (mm/mm)
BP0	28.65	0.00118	14.32	0.00127	24.35	0.00125
BP15	23.10	0.00112	11.55	0.00139	19.64	0.00121
BP50	19.02	0.00100	9.51	0.00163	16.17	0.00122
BP100	12.52	0.00098	6.26	0.00177	10.64	0.00119



Gambar 4.16 Hubungan tegangan regangan Beton PPC

Berdasarkan Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa penambahan ALWA berbahan *Styrofoam* sebesar 15%, 50% dan 100% dapat meningkatkan nilai regangan berturut-turut untuk tegangan $0.5f'_c$ sebesar 9%, 28%, dan 39% dari beton PPC tanpa ALWA berbahan *Styrofoam*.

Dengan memperhatikan Gambar 4.15 dan Gambar 4.16, menunjukkan perubahan tegangan-regangan seiring dengan penambahan prosentase ALWA berbahan *Styrofoam*. Hal, menunjukkan penggunaan ALWA berbahan *Styrofoam* pada campuran beton mengurangi nilai kekuatan tekan beton. Namun setelah tegangan maksimum ($f'_{c_{max}}$) terjadi dengan penambahan prosentase ALWA berbahan *Styrofoam* meningkatkan nilai regangan beton sehingga menjadikan beton semakin daktail. semakin daktail suatu beton maka semakin besar pula kemampuan beton untuk bertahan sebelum akhirnya mengalami keruntuhan.

4.8 Formulasi Tegangan-Regangan

Persamaan kurva tegangan-regangan beton *unconfine* pada saat tegangan beton naik dan setelah puncak tegangan ketika beton mengalami penurunan dapat dilihat pada Persamaan 4.4 dan Persamaan 4.5 (Popovics, 1973)

$$\frac{f_c}{f'_{ca}} = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_{ca}} \cdot \frac{n}{n-1 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_{ca}}\right)^n} \quad (4.4)$$

$$n = 0.8 + \frac{f'_{ca}}{17} \quad (4.5)$$

dimana :

f_c = tegangan beton

f'_{ca} = tegangan maksimum beton dengan ALWA

ε_c = regangan beton

ε'_{ca} = regangan beton ketika tegangan maksimum

n = *curve fitting factor*

Sedangkan untuk menghitung regangan beton ketika tegangan maksimum (ε'_{ca}) menggunakan persamaan yang mengacu pada *China National Standart* (GB50010-2010). Adapun persamaan regangannya adalah sebagai berikut :

$$\varepsilon'_{ca} = 0.002 + 0.5 (f'_{ca} - 50)10^{-5} \quad (4.6)$$

dimana :

ε'_{ca} = regangan beton ketika tegangan maksimum

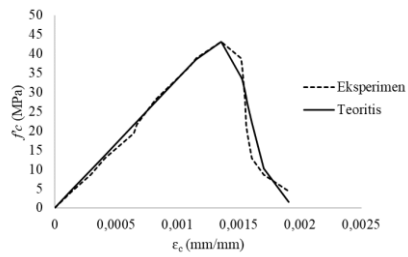
f'_{ca} = tegangan maksimum beton dengan ALWA

Namun pada penelitian ini, n pada Persamaan 4.5 kurang relevan. Sehingga, perlu dibuat suatu koreksi untuk mendapatkan persamaan n yang digunakan dan yang sesuai dengan hasil dari penelitian ini dapat dilihat Tabel 4.38

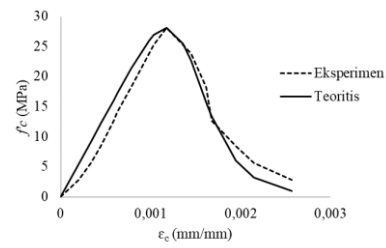
Tabel 4.38 Variasi Persamaan n

Prosentase ALWA (%)	Variasi n
0	$n = 0.8 + \frac{800}{f'_{ca}}$
15	$n = 0.8 + \frac{200}{f'_{ca}}$
50	$n = 0.8 + \frac{65}{f'_{ca}}$
100	$n = 0.8 + \frac{30}{f'_{ca}}$

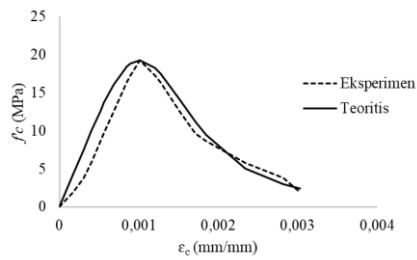
Dengan menggunakan persamaan yang telah dikoreksi, dibuat grafik hubungan tegangan-regangan setiap prosentase ALWA berbahan *Styrofoam* dengan membandingkan hasil teoritis dan eksperimen. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.18.



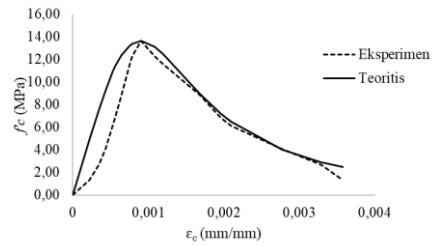
(a) 0%



(b) 15%



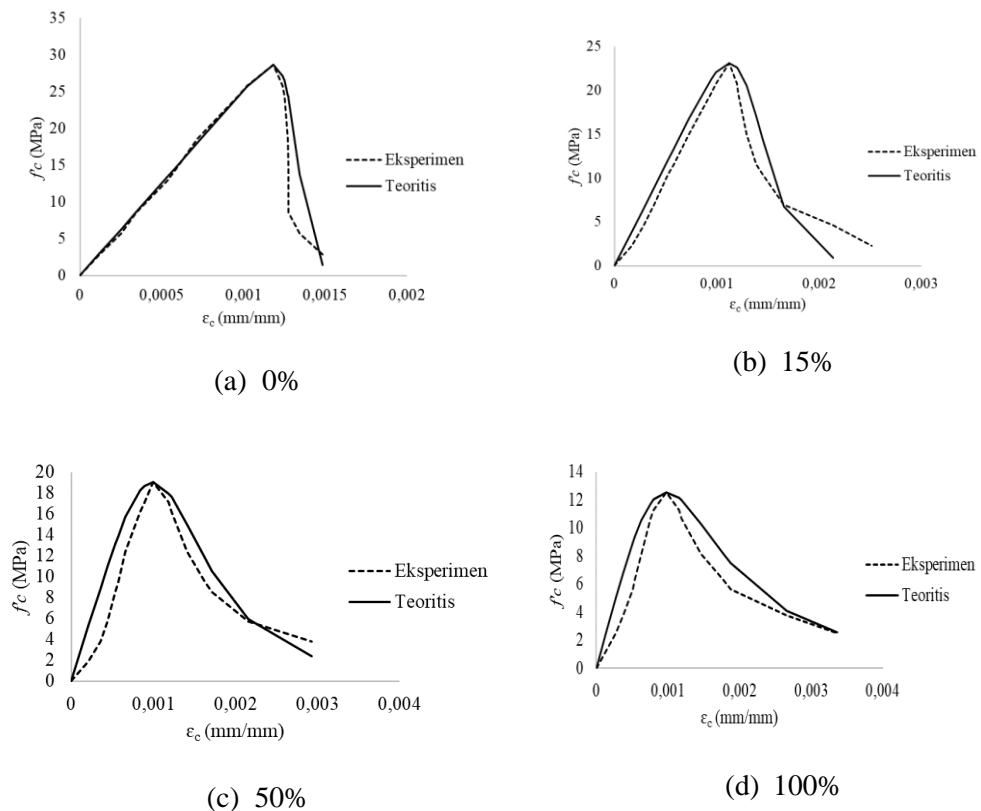
(c) 50%



(d) 100%

Gambar 4.17 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Teoritis dan Eksperimen
Pada Beton OPC

Berdasarkan Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa semakin besar komposisi ALWA berbahan *styrofoam* pada beton OPC maka selisih nilai tegangan sebelum tegangan puncak antara tegangan teoritis dan tegangan eksperimen semakin besar.



Gambar 4.18 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Teoritis dan Eksperimen Pada Beton PPC

Sedangkan untuk beton PPC, sama halnya dengan beton OPC prosentase ALWA berbahan *styrofoam* memengaruhi selisih tegangan teoritis dan tegangan eksperimen.

Dari Gambar 4.17 dan Gambar 4.18, dapat disimpulkan bahwa semakin besar prosentase ALWA maka nilai tegangan semakin kecil. Menurunnya nilai tegangan tersebut, berpengaruh terhadap koefisien dalam persamaan n .

4.9 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan. Nilai modulus elastisitas bervariasi tergantung dari kekuatan tekan beton, pembebanan, dan material beton. Selain itu menurut ACI 318 nilai tegangan yang digunakan untuk modulus elastisitas adalah 45% dari nilai kekuatan tekan maksimum ($0.45 f'_c$).

Tabel 4.39 Modulus Elastisitas Beton OPC

kode benda uji		σ	ϵ	E	E rata-rata
Nama	Kode	Mpa	m/m	Mpa	Mpa
BO0	4	19.57	0.00065	30197.32	29848.91
	5	19.18	0.00065	29500.50	
	6	14.45	0.00066	21930.52	
BO15	4	13.49	0.00060	22320.54	21496.72
	5	12.70	0.00060	21159.93	
	6	11.68	0.00056	21009.69	
BO50	4	8.51	0.00052	16447.26	16773.72
	5	8.35	0.00049	16978.71	
	6	9.10	0.00054	16895.19	
BO100	4	6.32	0.00054	11664.59	11532.99
	5	6.08	0.00055	11105.72	
	6	5.98	0.00051	11828.66	

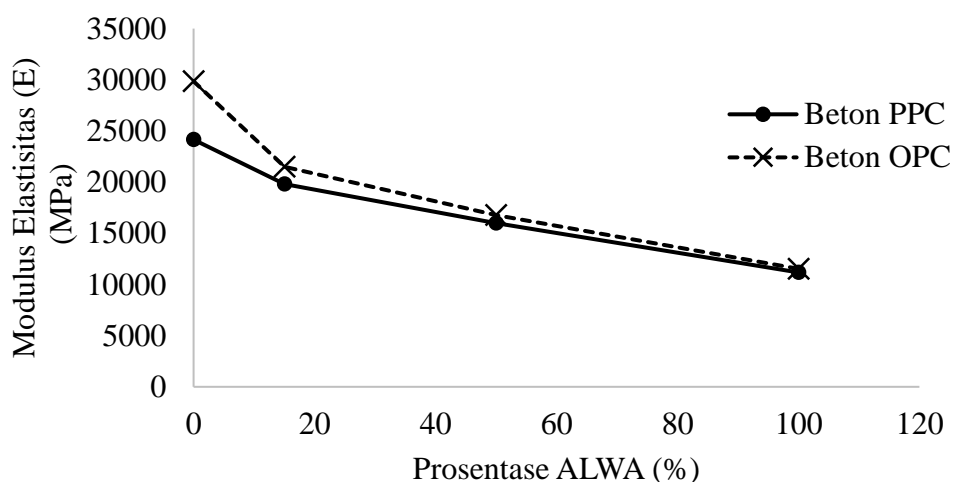
Berdasarkan Tabel 4.39 diperoleh penambahan prosentase ALWA berbahan *Styrofoam* sebesar 15%, 50% dan 100% dapat menurunkan modulus elastisits beton berturut-turut sebesar 28%, 44%, dan 61% dari modulus elastisitsas beton OPC tanpa ALWA. Selain itu, nilai modulus elastisitas maskimum menggunakan ALWA berbahan *Styrofoam* dengan prosentase 15% yaitu 21496.72 MPa.

Tabel 4.40 Modulus Elastisitas Beton PPC

kode benda uji		σ	ϵ	E	E rata-rata
Nama	Kode	Mpa	m/m	Mpa	Mpa
BP0	4	13.33	0.00055	24395.04	24150.44
	5	13.43	0.00055	24346.71	
	6	11.91	0.00050	23709.58	
BP15	4	10.98	0.00054	20235.05	19813.68
	5	9.68	0.00051	19162.18	
	6	10.53	0.00053	20043.79	
BP50	4	6.96	0.00060	11565.57	15990.72
	5	8.10	0.00056	14432.82	
	6	9.02	0.00051	17548.61	
BP100	4	5.65	0.00046	12406.38	11177.96
	5	5.95	0.00056	10587.82	
	6	5.31	0.00050	10539.69	

Berdasarkan Tabel 4.40 didapatkan nilai modulus elastisitas maksimum menggunakan ALWA berbahan *Styrofoam* dengan prosentase 15% dengan nilai

19813.68 MPa. Penambahan ALWA berbahan *Styrofoam* sebesar 15%, 50% dan 100% mampu menurunkan modulus elastisitas berturut-turut sebesar 18%, 34% dan 54% dari modulus elastisitas beton PPC tanpa ALWA.



Gambar 4.19 Grafik Hubungan Prosentase ALWA dengan Modulus Elastisitas

Berdasarkan Gambar 4.19 dapat disimpulkan bahwa semakin besar prosentase ALWA berbahan *Styrofoam* maka semakin kecil nilai modulus elastisitas. Adapun perbedaan nilai modulus elastisitas pada beton OPC dan PPC dengan prosentase ALWA berbahan *Styrofoam* 0%, 15%, 50% dan 100% berturut-turut sebesar 19%, 8%, 5% dan 3%. Nilai modulus elastisitas maksimum dengan penggunaan ALWA berbahan *Styrofoam* yaitu dengan penambahan 15% pada beton OPC dengan nilai 21496.72 MPa.

Tabel 4.41 Modulus Elastisitas Beton eksperimen dan Teoritis

kode benda uji	ekperimen	teoritis	Perbedaan
	E (σ/ϵ)	E ($4700\sqrt{f'_c}$)	
BP0	24150.44	25147.17	4%
BP15	19813.68	22581.82	12%
BP50	15990.72	19823.83	19%
BP100	11177.96	16626.93	33%
BO0	29848.91	30836.76	3%
BO15	21496.72	24883.71	14%
BO50	16773.72	20605.19	19%
BO100	11532.99	17339.30	33%

Berdasarkan Tabel 4.41 terdapat perbedaan nilai modulus elastisitas eksperimen dan teoritis, hal ini dikarenakan perbedaan material digunakan pada campuran beton. Selain itu, pada saat pengujian perlu diperhatikan permukaan

benda uji, permukaan benda uji yang rata akan memberikan nilai tegangan-regangan yang cukup baik hal ini dikarenakan distribusi beban akan tersebar secara merata ke seluruh permukaan benda uji.

4.10 Kekuatan Tarik Belah

Pengujian kekuatan Tarik belah beton dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari. Hasil kekuatan tarik belah beton dapat dilihat pada Tabel 4.42 dan Tabel 4.43.

Tabel 4.42 Kekuatan Tarik Belah Beton OPC

Kode benda uji		P _{max}	ft	ft _{rata-rata}
nama	kode	(kgf)	(Mpa)	(Mpa)
BO0	1	110000	3.50	3.24
	2	100000	3.18	
	3	95000	3.02	
BO15	1	85000	2.71	2.66
	2	86000	2.74	
	3	80000	2.55	
BO50	1	65000	2.07	2.33
	2	79000	2.51	
	3	76000	2.42	
BO100	1	48000	1.53	1.47
	2	47000	1.50	
	3	44000	1.40	

Dari hasil pengujian kekuatan tarik belah beton OPC dengan hasil diperolehnya penurunan seiring dengan bertambahnya prosentase ALWA berbahan *styrofoam*. Penambahan prosentase ALWA berbahan *styrofoam* sebesar 15%, 50% dan 100% mengakibatkan penurunan nilai kekuatan Tarik belah berturut – turut sebesar 18%, 28% dan 54% dari kekuatan Tarik belah beton OPC tanpa menggunakan ALWA berbahan *styrofoam*. Selain itu nilai kekuatan Tarik belah penambahan 0%, 15%, 50% dan 100% ALWA berbahan *styrofoam* berturut – turut sebesar 8%, 9%, 12%, 11% dari kekuatan tekannya. Nilai kekuatan Tarik tertinggi

untuk penggunaan ALWA berbahan *styrofoam* yaitu dengan mensubstitusi agregat kasar (batu pecah) sebesar 15% dengan kekuatan Tarik belah yang dihasilkan 3.24 MPa. Benda uji setelah pengujian kekuatan tarik belah beton OPC dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Benda uji setelah pengujian kekuatan tarik belah beton OPC

Saat pengujian kekuatan tarik belah beton semakin besar komposisi ALWA berbahan *styrofoam* benda uji semakin cepat terbelah. Hal ini dikarenakan ALWA berbahan *styrofoam* tidak berikatan dengan material penyusun beton lainnya.

Tabel 4.43 Kekuatan Tarik Belah Beton PPC

Kode benda uji		P _{max}	ft	ft rata-rata
nama	kode	(kgf)	(Mpa)	(Mpa)
BP0	1	96000	3.06	3.03
	2	103000	3.28	
	3	87000	2.77	
BP15	1	82000	2.61	2.54
	2	86000	2.74	
	3	71000	2.26	
BP50	1	58000	1.85	1.86
	2	57000	1.81	
	3	60000	1.91	
BP100	1	40000	1.27	1.24
	2	41000	1.31	
	3	36000	1.15	

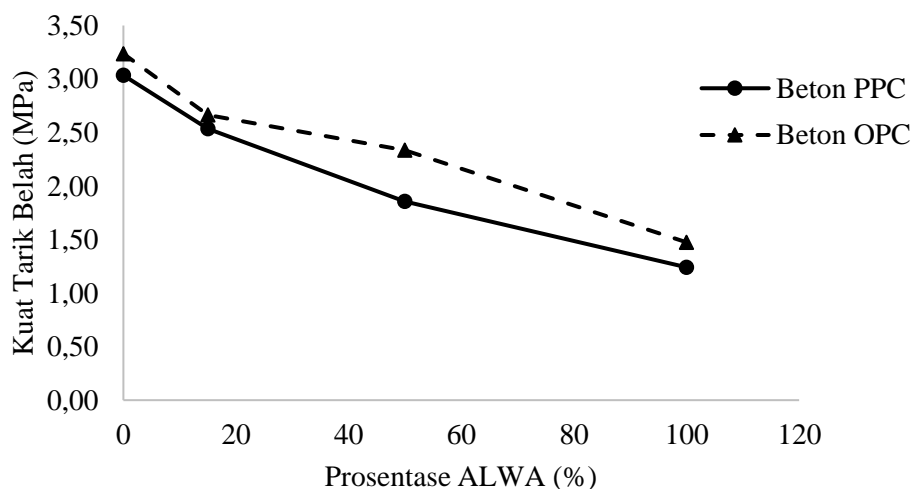
Selanjutnya setelah dilakukan pengujian kekuatan tarik beton PPC diperoleh penurunan seiring dengan bertambahnya prosentase ALWA berbahan

styrofoam. Penambahan prosentase ALWA berbahan *styrofoam* sebesar 15%, 50% dan 100% mengakibatkan penurunan nilai kekuatan Tarik belah berturut – turut sebesar 16%, 39% dan 59% dari kekuatan Tarik belah beton PPC tanpa menggunakan ALWA berbahan *styrofoam*. Selain itu nilai kekuatan Tarik belah penambahan 0%, 15%, 50% dan 100% ALWA berbahan *styrofoam* berturut – turut sebesar 10%, 11%, 10%, 10% dari kekuatan tekannya. Nilai kekuatan Tarik tertinggi untuk penggunaan ALWA berbahan *styrofoam* yaitu dengan mensubstitusi agregat kasar (batu pecah) sebesar 15% dengan kekuatan Tarik belah yang dihasilkan 2.54 MPa. Benda uji setelah pengujian kekuatan tarik belah beton OPC dapat dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Benda uji setelah pengujian kekuatan tarik belah beton PPC

Berdasarkan Gambar 4.21 dapat dilihat ALWA berbahan *styrofoam* tidak hancur seperti batu pecah, hal ini dikarenakan ALWA berbahan *styrofoam* tidak berikatan dengan material penyusun beton lainnya. Grafik hubungan kekuatan tarik belah beton dengan prosentase ALWA berbahan styrofoam dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Hubungan Kekuatan Tarik Belah dengan Prosentase ALWA

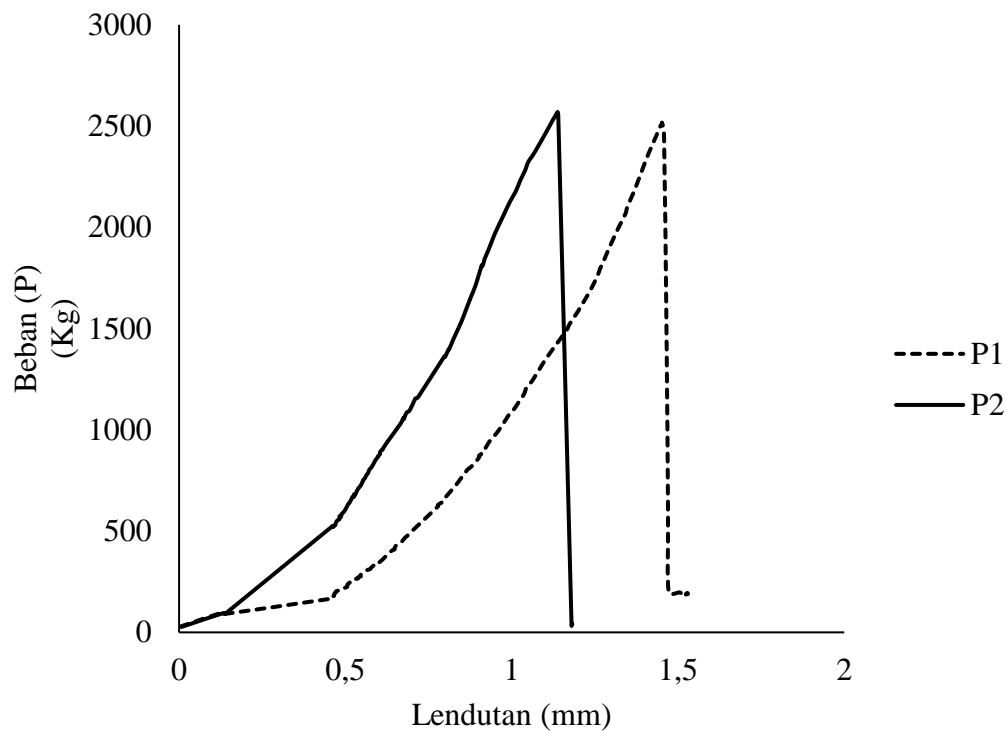
Berdasarkan gambar 4.22 dapat disimpulkan bahwa penambahan prosentase ALWA berbahan *styrofoam* mengakibatkan penurunan nilai kekuatan tarik belah pada beton OPC dan beton PPC. Hasil penelitian ini hampir sama dengan penelitian Ashish Paranje dan Preeti Kulkarni (2017) bahwa penggunaan *styrofoam* menurunkan nilai kuat tarik belah beton.

Penurunan nilai kuat tarik belah beton dikarenakan permukaan ALWA berbahan *styrofoam* yang licin sehingga sulit berikatan dengan material beton lainnya. Selain itu di dapatkan nilai kekuatan tarik belah dengan penggunaan ALWA berbahan *styrofoam* yaitu dengan prosentase ALWA berbahan *styrofoam* sebesar 15% pada beton OPC dengan nilai kekuatan Tarik belah sebesar 3.24 MPa

Selain itu, pada umumnya nilai kekuatan Tarik belah beton berkisar antara 8% sampai 15% dari kekuatan tekannya (untu Eveli, 2015). Nilai kekuatan tarik belah dengan substitusi ALWA berbahan Styrofoam 0%, 15%, 50% dan 100 beturut-turt untuk beton OPC sebesar 9%, 9%, 12%, dan 11%, sedangkan untuk beton PPC sebesar 11%, 11%, 10%, 10%. Sehingga dapat disimpulkan nilai kuat tarik belah pada penelitian ini untuk beton OPC dan beton PPC berkisar 8%-12%, sehingga dapat disimpulkan beton tersebut memenuhi syarat yang ada.

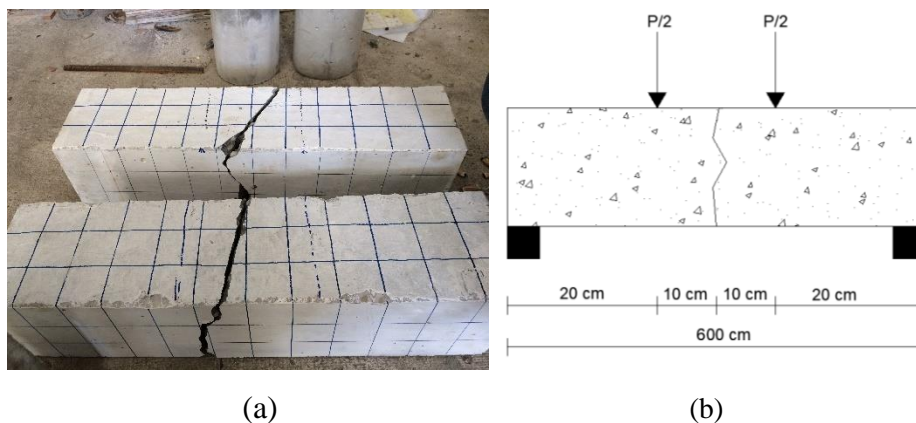
4.11 Kekuatan Lentur

Pengujian kekuatan lentur dilakukan ketika benda uji balok 15 x 15 x 60cm berumur 28 hari. Selain itu, untuk prosentase ALWA berbahan *Styrofoam* yang menghasilkan nilai kekuatan tekan tertinggi/optimum yaitu sebesar 15%.



Gambar 4.23 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan

Berdasarkan Gambar 4.23 dapat dilihat bahwa tidak terdapat crack pertama pada kedua benda uji, sehingga baban maksimum yang terjadi sama dengan beban pada saat crack. Hal ini dikarenakan balok yang diuji tidak menggunakan tulangan. Berikut adalah Gambar benda uji balok setelah pengujian.



Gambar 4.24 Benda Uji Balok Setelah pengujian (a) pola kegagalan lentur (b) ilustrasi kegagalan lentur

Berdasarkan Gambar 4.24 posisi crack berada pada jarak 30cm dari ujung kiri. Sehingga nilai momen *crack* dan kekuatan tarik beton dapat dilihat pada Tabel 4.44.

Tabel 4.44 Momen crack dan Tegangan Lentur

Benda Uji	$P_{max}=P_{crack}$ (N)	L/3 (mm)	M_{crack} (Nmm)	b (mm)	h (mm)	y (mm)	f_r (Mpa)	f_r rata - rata (Mpa)
1	25174.24	200	2517424	150	150	75	4.47542	4.52
2	25700.03	200	2570003	150	150	75	4.56889	

Dari Tabel 4.44 didapatkan nilai tegangan lentur beton rata-rata sebesar 4.522 MPa, Momen crack rata-rata sebesar 254371.5 Nmm dan beban crack rata-rata sebesar 25437.14 N.

Tabel 4.45 Perbandingan Hasil Teoritis dan Eksperimen

	koefisien (k)	f'_c (Mpa)	$f_r = k\sqrt{f'_c}$ (Mpa)
Teoritis	0.62	28.06	3.28
Eksperimen	0.85	28.06	4.52

Berdasarkan Tabel 4.45 didapatkan nilai koefisien dari modulus keruntuhan dengan menggunakan ALWA berbahan *Styrofoam* sebesar 15% yaitu 0.84.

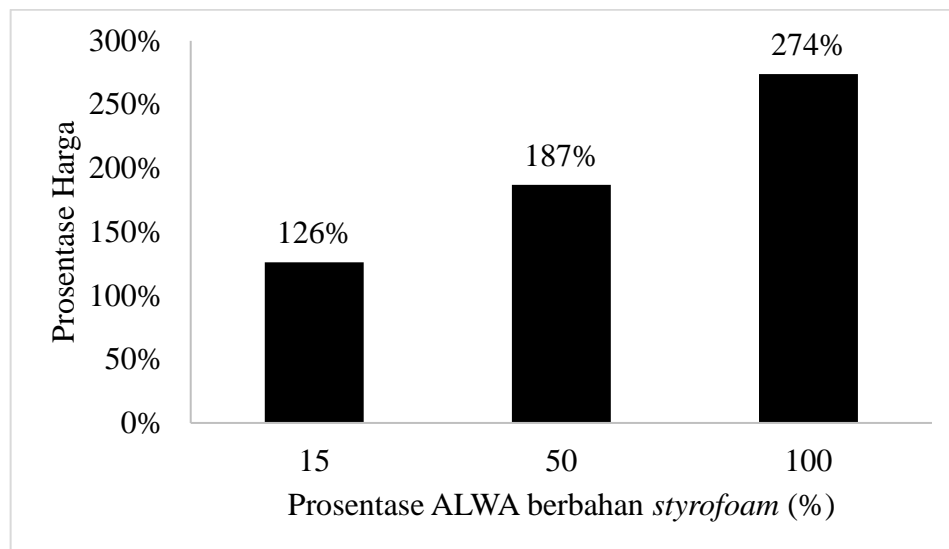
4.12 RAB Substitusi Material Batu Pecah

Untuk menetapkan jumlah total biaya pokok produksi, maka diperlukan pengendalian terhadap biaya-biaya yang berkaitan langsung dengan produksi. Dengan demikian, maka perusahaan dapat memperoleh keuntungan yang optimum dan mampu bersaing di pasaran. Hal-hal yang harus dipertimbangkan oleh perusahaan meliputi : harga, kualitas, biaya angkut, penyimpanan, pemeliharaan, dan diskon baik untuk pembelian alat produksi maupun material. Untuk analisis Rencana Anggaran Biaya (RAB) dapat dilihat pada table 4.54, 4.55, 4.56 dan 4.57 berikut :

Tabel 4.46 RAB 1m³ dengan Prosentase ALWA Berbahan *Styrofoam* yang Bervariasi

Prosentase ALWA (%)	Material	Satuan	Kebutuhan	Harga Satuan	Jumlah
0	Semen	kg	700	Rp1,454	Rp 1,017,800
	Pasir	kg	547	Rp183	Rp 100,158
	Batu pecah	kg	931	Rp184	Rp 170,993
	Air	kg	210	Rp0	Rp -
	ALWA	Aseton	liter	Rp15,000	Rp -
	<i>styrofoam</i>	kg	0.00	Rp0	Rp -
Jumlah					Rp 1,288,951
15	Semen	kg	700	Rp1,454	Rp 1,017,800
	Pasir	kg	547	Rp183	Rp 100,158
	Batu pecah	kg	791	Rp184	Rp 145,344
	Air	kg	210	Rp0	Rp -
	ALWA	Aseton	liter	Rp15,000	Rp 361,842
	<i>styrofoam</i>	kg	38.60	Rp0	Rp -
Jumlah					Rp 1,625,144
50	Semen	kg	700	Rp1,454	Rp 1,017,800
	Pasir	kg	547	Rp183	Rp 100,158
	Batu pecah	kg	465	Rp184	Rp 85,496
	Air	kg	210	Rp0	Rp -
	ALWA	Aseton	liter	Rp15,000	Rp 1,206,139
	<i>styrofoam</i>	kg	128.65	Rp0	Rp -
Jumlah					Rp 2,409,593
100	Semen	kg	700	Rp1,454	Rp 1,017,800
	Pasir	kg	547	Rp183	Rp 100,158
	Batu pecah	kg	0	Rp184	Rp -
	Air	kg	210	Rp0	Rp -
	ALWA	Aseton	liter	Rp15,000	Rp 2,412,277
	<i>styrofoam</i>	kg	257.31	Rp0	Rp -
Jumlah					Rp 3,530,235

Berdasarkan Tabel 4.46 dapat disimpulkan bahwa penggunaan ALWA berbahan *Styrofoam* dalam pembuatan beton, memiliki harga jual yang cukup tinggi. Hal ini karenkan harga aseton yang terbilang cukup mahal. Meningkatnya ALWA berbahan *styrofoam* berbanding lurus dengan peningkatan harga jual beton yang dapat dilihat pada Gambar 4.25.



Gambar. 4.25 Perbandingan RAB penggunaan ALWA berbahan *styrofoam*

Berdasarkan analisis biaya, dengan mensubstitusi agregat kasar dengan ALWA berbahan *styrofoam*, mengakibatkan biaya pembuatan beton meningkat hampir tiga kali lipat dibandingkan dengan beton konvensional.

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1 Penambahan ALWA berbahan *Styrofoam* terhadap campuran beton meningkatkan nilai slump beton, sehingga dapat meningkatkan *workability*.
- 2 Penambahan komposisi ALWA berbahan *Styrofoam* dapat mengurangi berat volume beton dan didapat berat volume beton kurang dari 1840 kg/m^3 pada penambahan 100% ALWA berbahan *Styrofoam* yaitu 1665.82 kg/m^3 untuk beton OPC dan 1761.31 kg/m^3 untuk beton PPC. Hal ini dikarenakan berat volume dari ALWA berbahan styrofoam lebih ringan bila dibandingkan dengan berat volume batu pecah.
- 3 Penurunan berat volume berbanding lurus dengan penurunan nilai kekuatan tekan beton, modulus elastisitas beton, dan nilai kekuatan tarik belah beton. Hal ini diakibatkan karena permukaan ALWA berbahan *Styrofoam* yang licin sehingga sulit untuk berikatan dengan material penyusun beton lainnya.
- 4 Semakin besar komposisi ALWA berbahan *Styrofoam* maka beton semakin daktil.
- 5 Secara umum persamaan kurva tegangan-regangan dapat mengikuti persamaan dari Popovic dengan mengubah persamaan n.
- 6 Nilai kekuatan tekan, modulus elastisitas dan kekuatan tarik belah optimum dengan penggunaan prosentase ALWA berbahan *Styrofoam* sebesar 15% pada beton OPC.
- 7 ALWA berbahan *styrofoam* dapat digunakan untuk beton structural dan tahan gempa dengan komposisi berturut-turut 46.93% dan 69.83% untuk beton OPC, sedangkan 41.62% dan 65.56% untuk beton PPC.
- 8 Nilai kuat tarik belah rata-rata sebesar 10% dari kuat tekan.

- 9 Untuk momen *crack* rata-rata, setelah dilakukan penambahan ALWA berbahan *Styrofoam* sebesar 15% didapatkan nilai momen crack sebesar 1907785,13 Nmm
- 10 Tegangan lentur rata-rata dari beton dengan penambahan ALWA berbahan *Styrofoam* sebesar 15% didapatkan nilai 4.52 MPa.

5.2 Saran

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut pada beton dengan ALWA berbahan *Styrofoam* seperti pengujian rangkai dan susut.
2. Diperlukan perlakuan yang berbeda terhadap ALWA berbahan *Styrofoam* sehingga permukaan *Styrofoam* tidak licin
3. Diperlukan suatu metode pemadatan untuk beton ALWA berbahan *Styrofoam*
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan *Styrofoam* dengan campuran material yang berbeda
5. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai larutan yang digunakan untuk melarutkan *Styrofoam* guna menghasilkan biaya yang lebih ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute (2014). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14M) and Commentary (ACI 318RM-14)*. Michigan : ACI
- Andriani, dkk. (2012), *Pengaruh Penggunaan Semen Sebagai Bahan Stabilisasi Pada Tanah Lempung Daerah Lambung Bukit Terhadap Nilai Cbr Tanah*. Jurnal Rekayasa Sipil Vol. 8, No.1. Universitas Andalas, Padang
- Aman subakti, dkk (2012), *Teknologi Beton dalam Praktek I*, ITSPress, Surabaya.
- Ashish Paranje & Preeti Kulkarni. (2017), *Experimental Investigation on Styrofoam Based*. International Journal of Mechanical and Production Engineering Vol. 5, No.12. Institute of Technology and Research, India
- ASTM C 29/C 29M (Reapproved 2003), *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*, United Stated.
- ASTM C 33 (2003), *Standard Specification for Concrete Aggregates*, United Stated.
- ASTM C 39/C39M (2003), *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, United Stated.
- ASTM C 40 (2004), *Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*, United Stated.
- ASTM C 78/C78M (2016), *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading*, United Stated.
- ASTM C 117 (2003), *Standard Test Method for Material Finer than 75 μ m (No.200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*, United Stated.

ASTM C 127 (Reapproved 2001), *Standard Test Method for Density Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate*, United Stated.

ASTM C 128 (2001), *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*, United Stated.

ASTM C 131 (2003), *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*, United Stated.

ASTM C 136 (2001), *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*, United Stated.

ASTM C 187 (2004), *Standard Test Method for Normal Consistency of Hidraulic Cement*, United Stated.

ASTM C 187 (1995), *Standard Test Method for Desnsity of Hidraulic Cement*, United Stated.

ASTM C 191 (2008), *Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle*, United Stated.

ASTM C 330 (2004), *Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*, United Stated.

ASTM C 496/496M (2004), *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, United Stated.

ASTM C 566-97 (Reapproved 2004), *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*, United Stated.

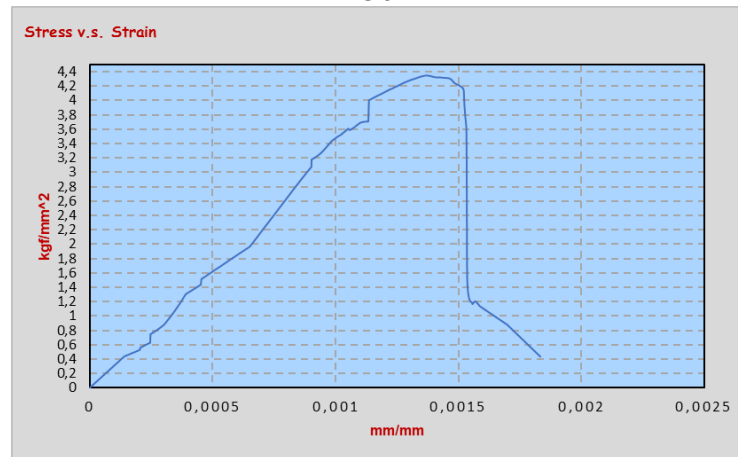
- Badan Standarisasi Nasional (2013), *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)*. Jakarta: BSNI.
- Billmeyer, F.W.Jr., (1984), *Text Book of Polymer Science*, Third Edition, A Willey Inter Science Publication.
- BPOM. (2008), *Informatorium Obat Nasional Indonesia, Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia*. Vol.9, No.5. Jakarta
- Budhianto (1997), *Penggunaan Stereofom Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Untuk Mendapatkan Beton Riangan*. Thesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Crawford, R.J., (1998), *Plastic Engginering*, Third Edition, John Wiley & Sons Inc, Singapura.
- D.C. Kent and Park (1971), *Flexural Members with Confined Concrete*, Journal of The Structural Dicision, ASCE. Vol 97.
- Departemen Pekerjaan Umum (1983), *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983*. Jakarta: PU.
- Enda Dedi, dkk. (2016), *Kajian eksperimental material dan elemen dinding beton beragregat kasar styrofoam dengan lapisan coating*. Jurnal teoritis dan terapan bidang rekayasa sipil. Vol.23, No.3. ITB, Bandung
- E. Hognestad, (1951), *A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced concrete Members*, University of Illinois Engineering Experimental Station, Bulletin Series no.399

- Geertruida Eveline Untu, dkk. (2015), *Pengujian Kuat Tarik Belah dengan Variasi Kuat Tekan Beton*. Jurnal Sipil Statik. Vol.3, No.10. Universitas Sam Ratulangi, Manado
- Giri I.B.D., I Ketut S., & Ni Made T. (2008), *Kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan penambahan styrofoam (styrocon)*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil. Vol.12, No.1. Universitas Udayana, Denpasar
- I Wayan Intara (2014), *Perbedaan Umur Pencapaian Kuat Tekan Beton dari Perekat Semen OPC, PPC dan PCC*. Jurnal Logic. Vol.14, No.2. Politeknik Negeri Bali, Denpasar
- L. al-Jaberi, Z.W. Abbas, E.K. Jaffar. (2015), *Effect of volume of steel fiber on the punching shear behavior of hybrid reinforced concrete flat slab*. Journal of Engineering and Development Vol. 20, No.02. Universitas Al-Mustansiriyah, Irak.
- Mochammad Solikin, dkk. (2014), *Pengaruh Perbedaan Sumber Fly Ash Terhadap Karakteristik Mekanik High Volume Fly Ash Concrete yang Dibuat dengan Menggunakan Semen PPC*. Jurnal Eco Rekayasa Vol.10, No.2. Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- National Standard of The Peoples's Republic of China (2010), *Code for Design of Concrete Structures (GB50010-2010)*. Beijing
- Popovics S., (1973), *Numerical Approach to The Complete Stress-Strain Curve of Concrete*, Cement and concrete Research, Vol.3, No.5. hal 583-599. Pergamon Press. United States
- Prima Yane P. & Nevy Sandra. (2015), *Perbandingan Perilaku Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Ordinary Portland Cement (OPC) dan Portland Composite Cement (PCC)*. Jurnal Rekayasa Sipil Vol.XII, No.1. Universitas Negeri Padang, Padang.

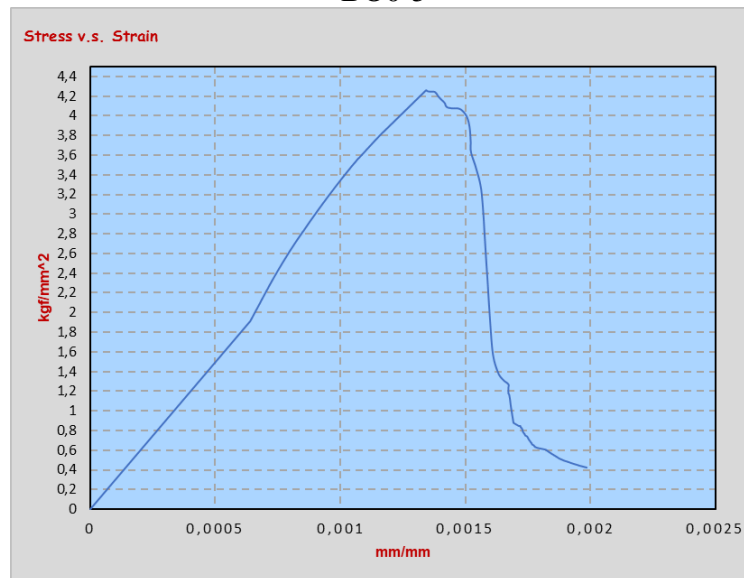
- Priyoni Yoppi & Nadia. (2014), *Pengaruh Penggunaan Styrofoam Sebagai Pengganti Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan Beton*. Jurnal Konstruksi Vol.5, No.2. Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta
- Pujadi & Melfa Yola. (2013), *Analisis Sustainability Packaging dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA)*. Skripsi. UIN Sultan Syarif Kasim, Riau
- R. Irmawaty, dkk. (2016). *Flexural Behavior Of Styrofoam-Filled Concrete*. *International Journal of Engineering and Science Applications*. UNHAS, Makasar
- Saeed jafari & seyed saeed mahini. (2017), *Lightweight concrete design using gene expression programing*. *Construction and Building Materials* 139, Iran, hal 93-100
- Setiadi Irawan. (2008), *Sintetis Maltovanilat Melalui Mekanisme Steglich Menggunakan Pelarut Aseton*. Skripsi. Universitas Indonesia, Jakarta
- Setiawan Agus, (2016), *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*, Surabaya
- Simamora nenni. (2015), *Pengaruh Penambahan Styrofoam dengan Pelarut Toluena terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Ringan*. Jurnal Einstein. Universitas Negeri Medan, Medan

HASIL UJI KEKUATAN TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS

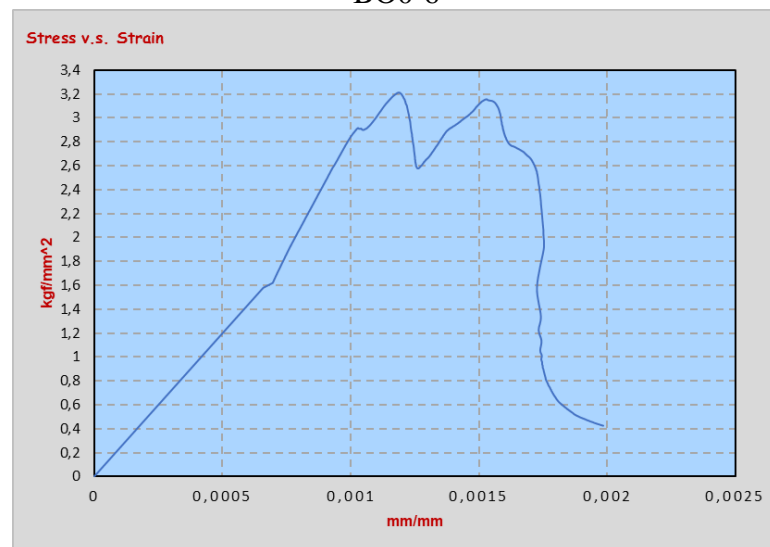
BO0-4



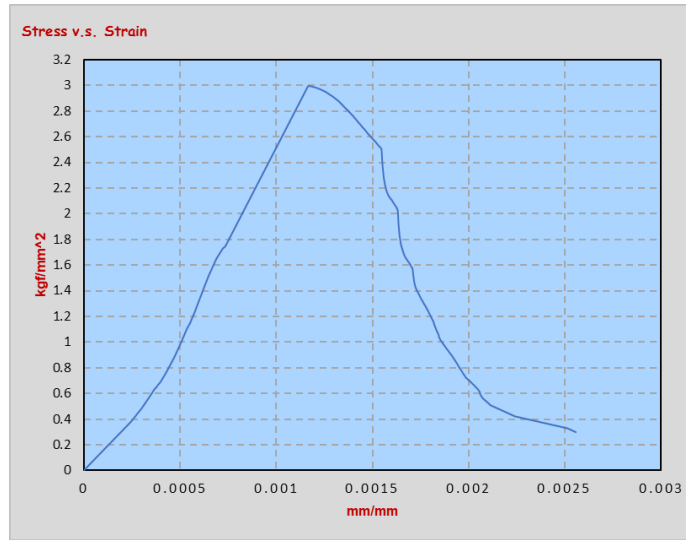
BO0-5



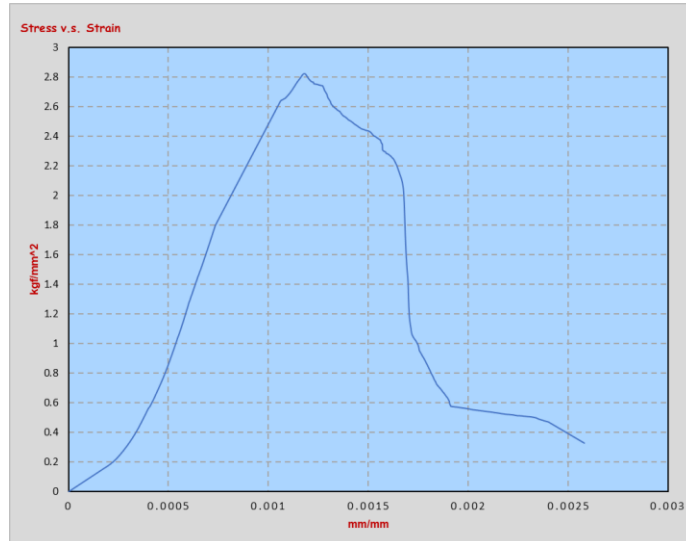
BO0-6



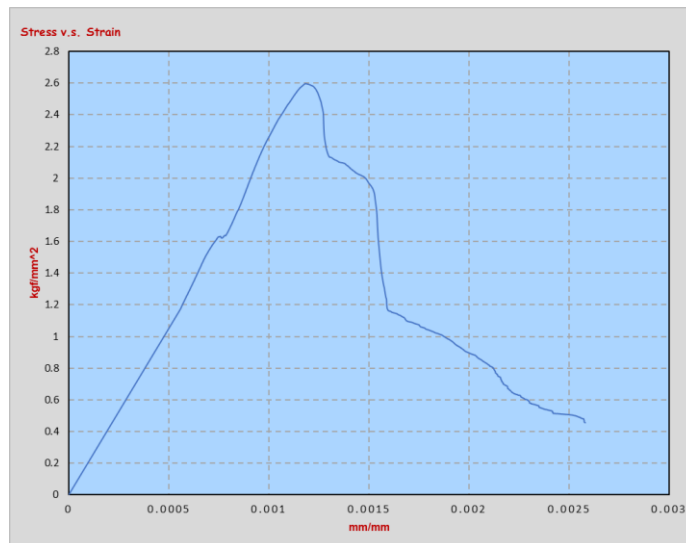
BO15-4



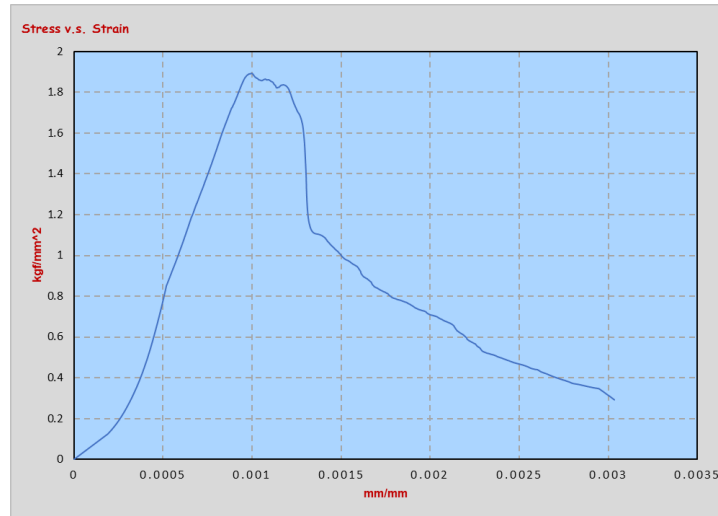
BO15-5



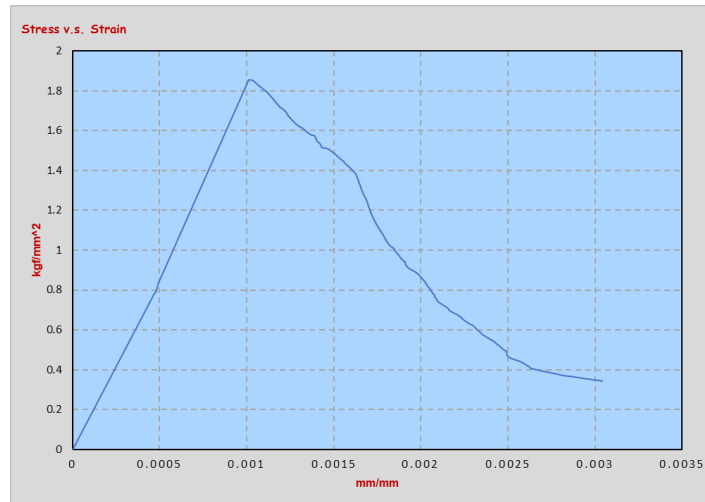
BO15-6



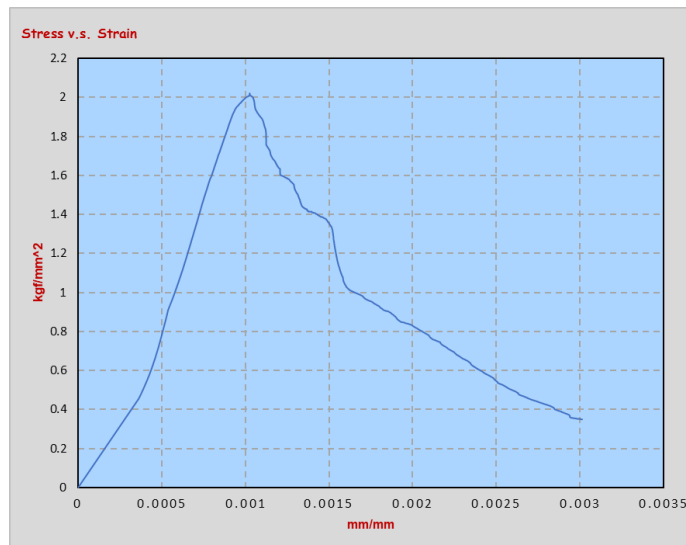
BO50-4



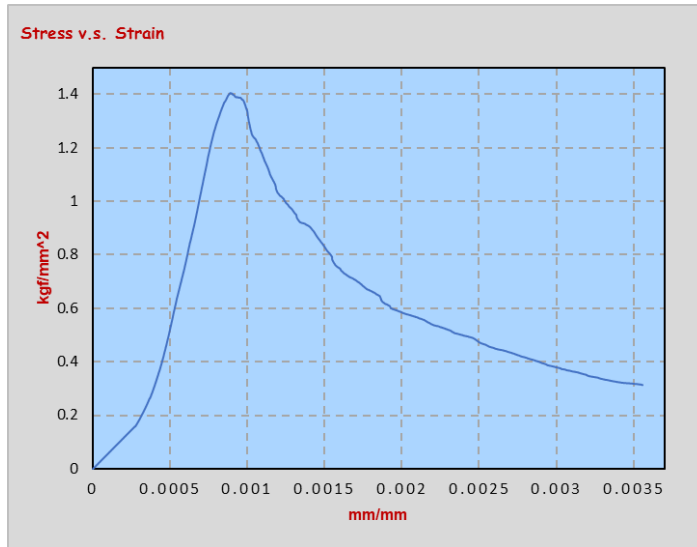
BO50-5



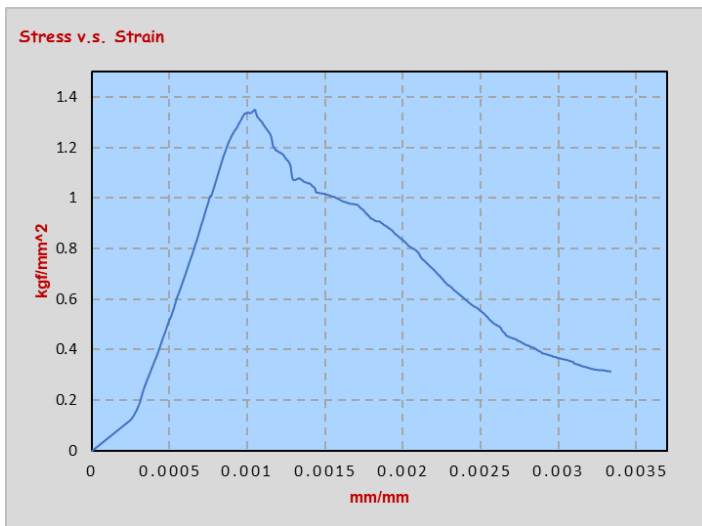
BO50-6



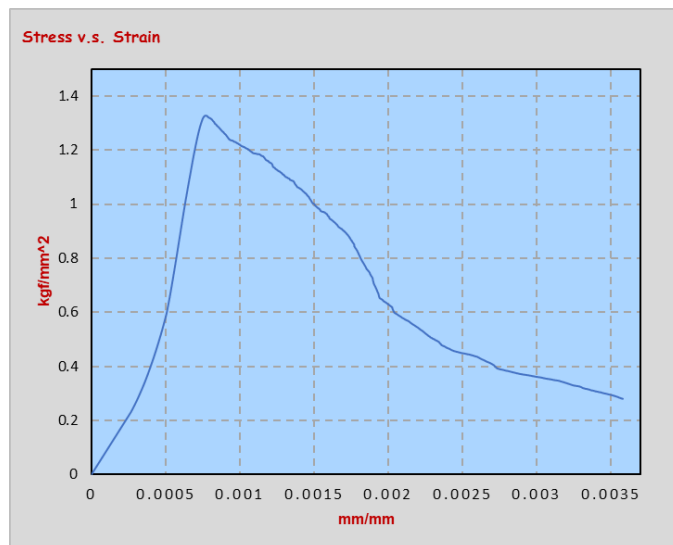
BO100-4



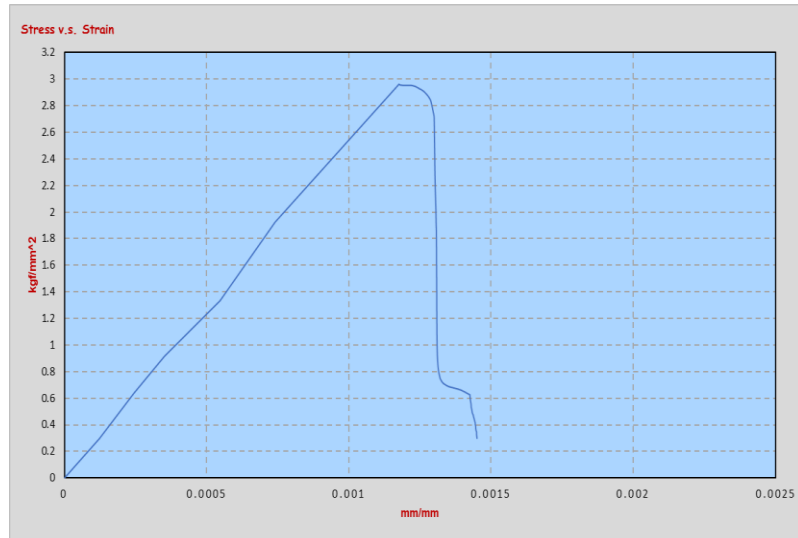
BO100-5



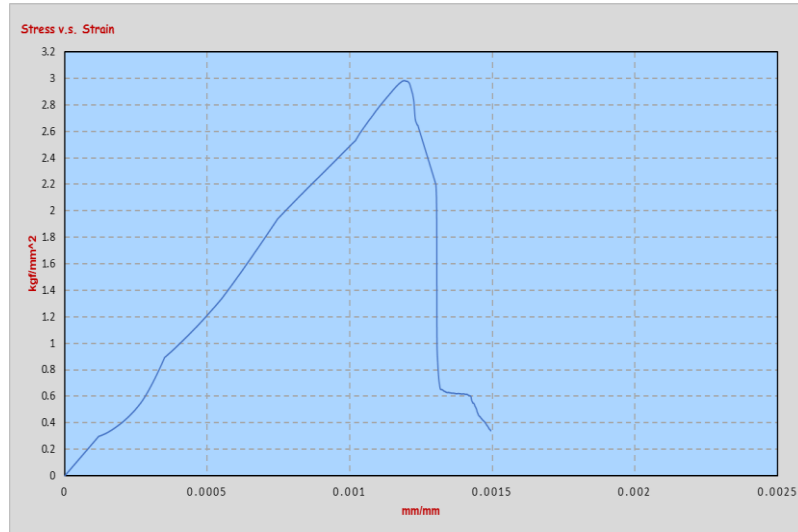
BO100-6



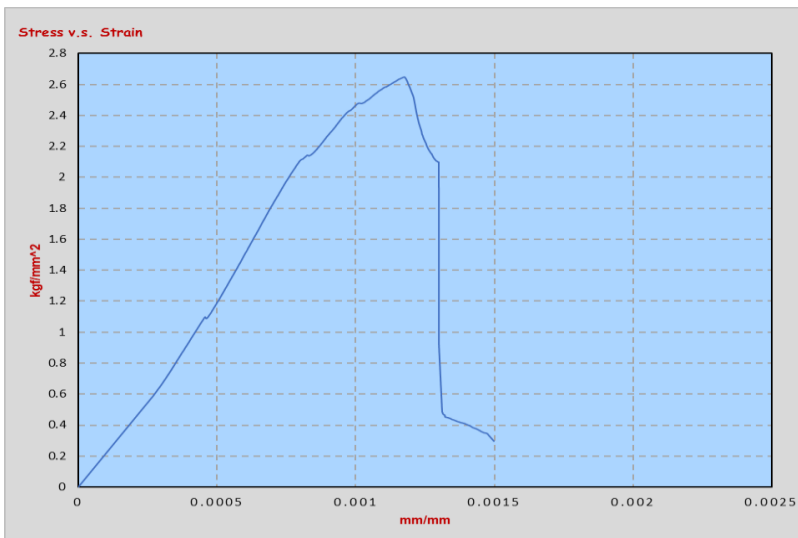
BP0-4



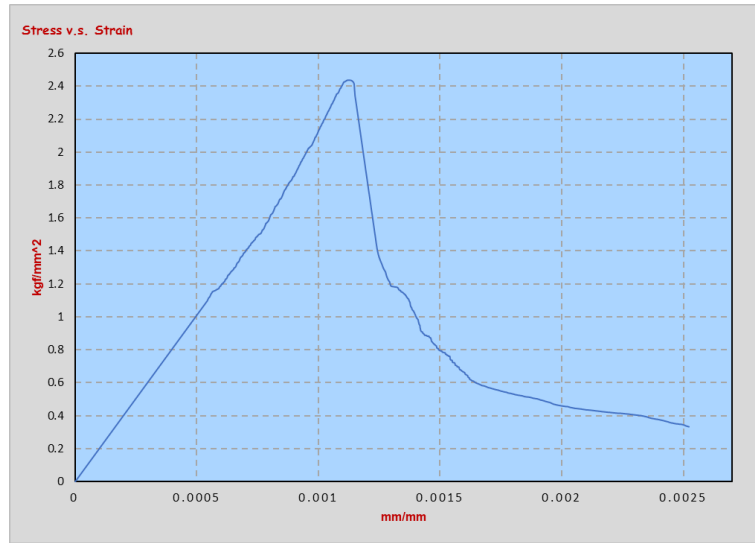
BP0-5



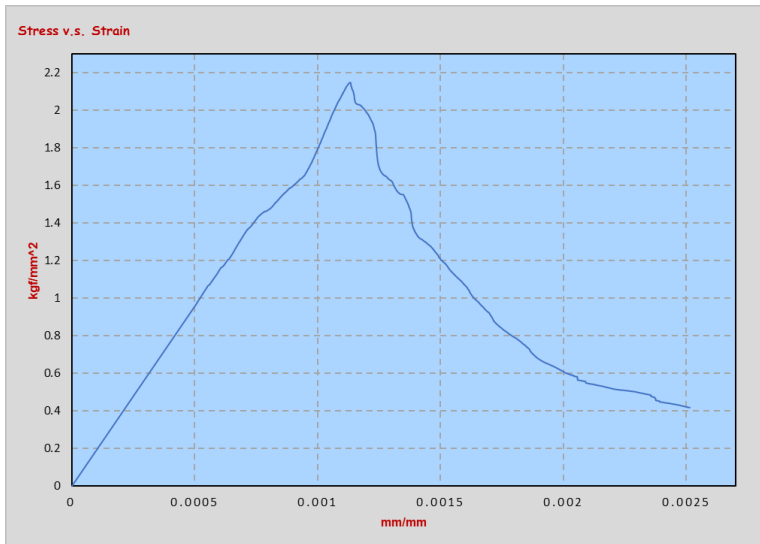
BP0-6



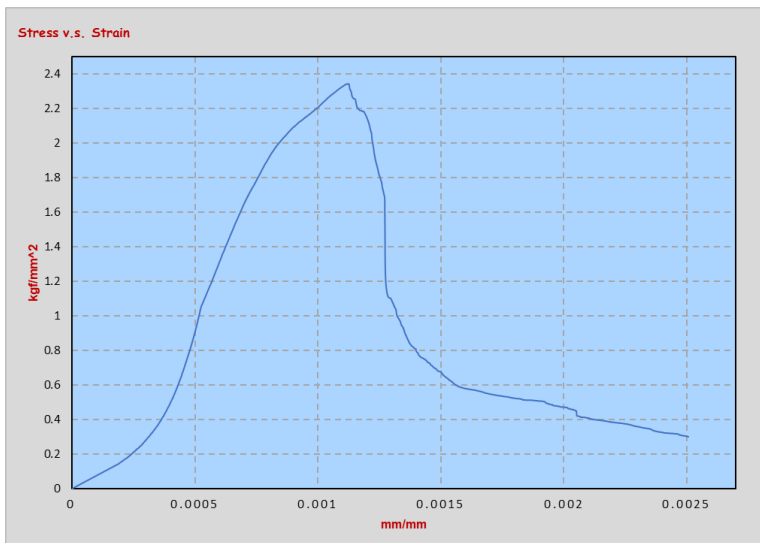
BP15-4



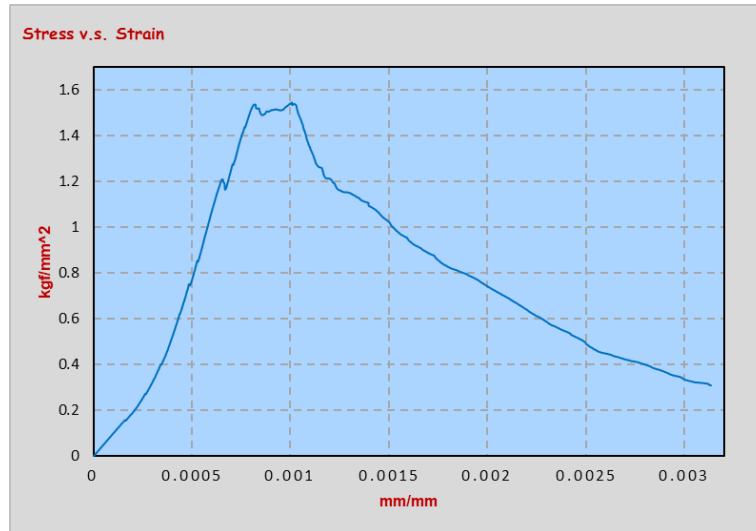
BP15-5



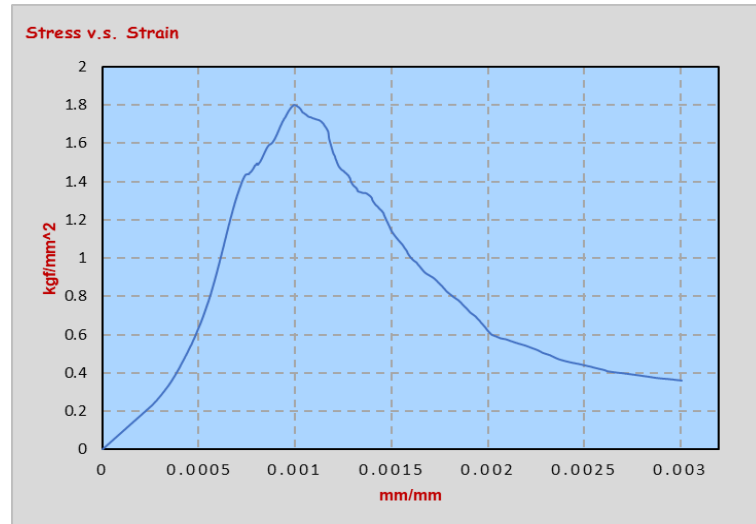
BP15-6



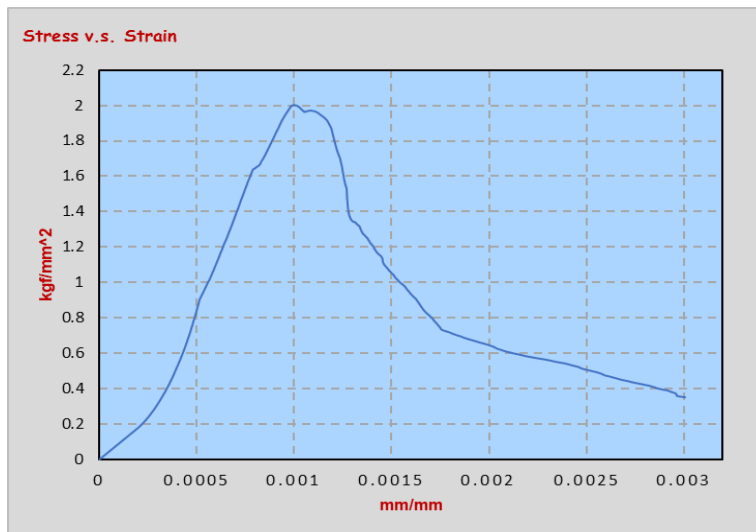
BP50-4



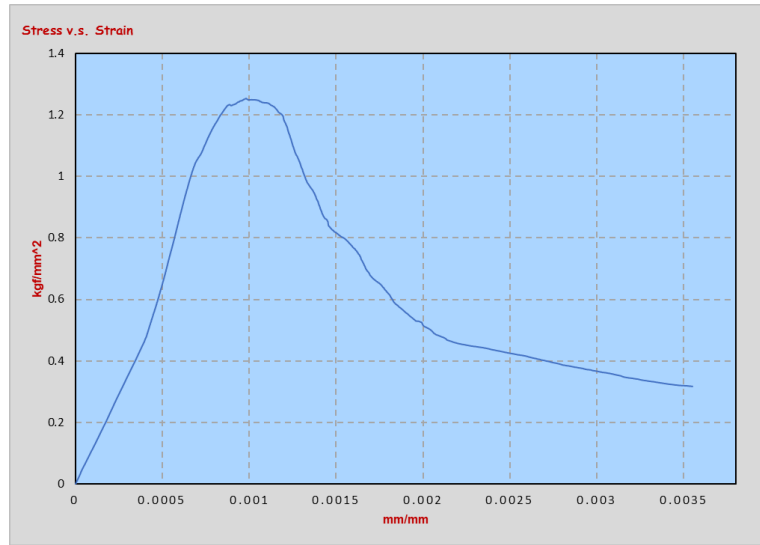
BP50-5



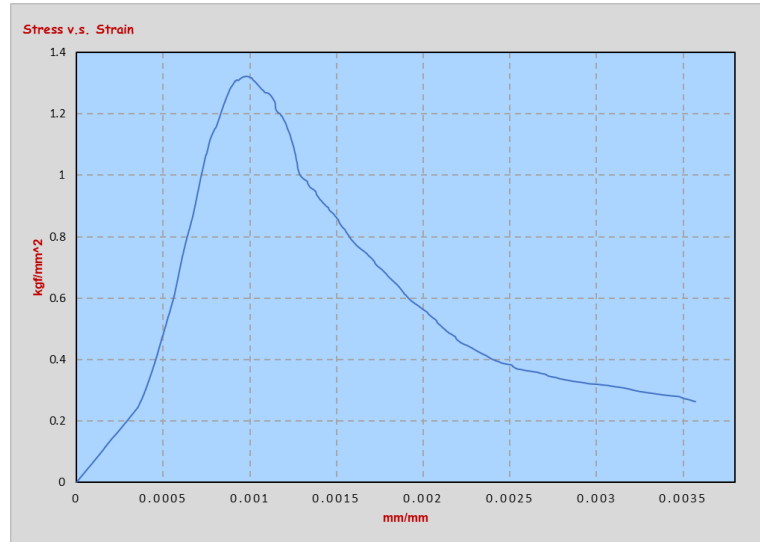
BP50-6



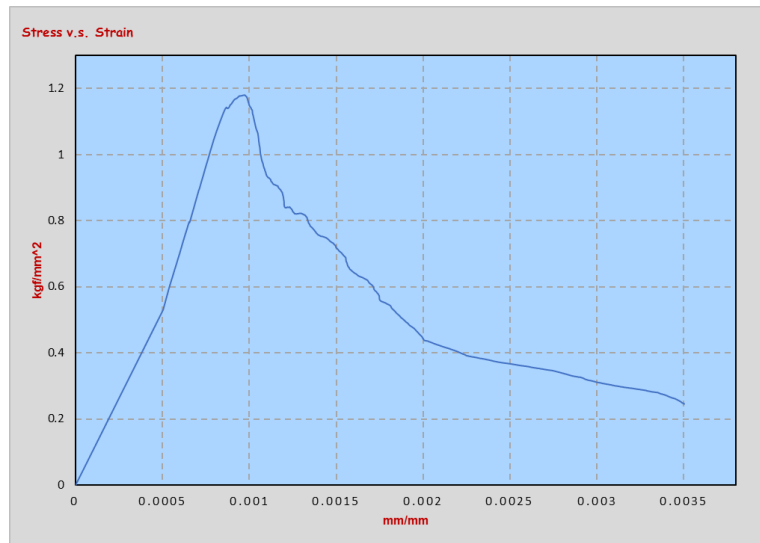
BP100-4



BP100-5



BP100-6



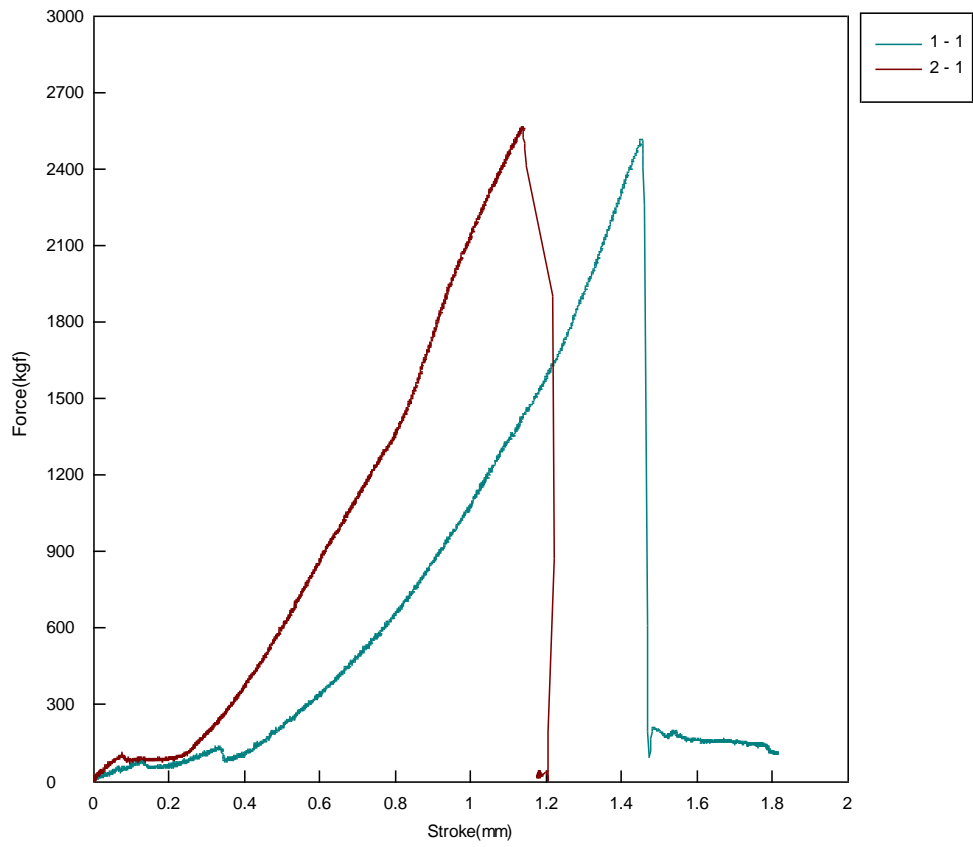
Pengujian Kuat Lentur

Pengujian 1		Pengujian 2	
Force	Stroke	Force	Stroke
kgf	mm	kgf	mm
6.373226	0	12.74645	0
15.93307	0.002	25.4929	0.006
19.11968	0.004	25.4929	0.006
28.67952	0.004	27.08621	0.008
38.23936	0.026	70.10549	0.038
39.83266	0.04	89.22517	0.054
43.01928	0.042	87.63186	0.054
44.61258	0.048	94.00509	0.06
46.20589	0.052	98.78501	0.068
49.39251	0.054	98.78501	0.068
54.17242	0.056	98.78501	0.07
57.35904	0.07	94.00509	0.084
58.95234	0.08	86.03856	0.092
81.25864	0.1	94.00509	0.112
84.44525	0.124	95.5984	0.132
89.22517	0.126	87.63186	0.134
97.1917	0.128	95.5984	0.134
89.22517	0.13	90.81847	0.138
82.85194	0.132	90.81847	0.138
92.41178	0.24	117.9047	0.242
95.5984	0.26	132.2444	0.26
98.78501	0.262	140.211	0.264
108.3448	0.266	143.3976	0.268
113.1248	0.276	154.5507	0.278
116.3114	0.29	188.0102	0.294
117.9047	0.296	195.9767	0.3
125.8712	0.302	203.9432	0.306
132.2444	0.314	226.2495	0.318
135.4311	0.328	240.5893	0.332
143.3976	0.332	250.1491	0.336
144.9909	0.432	479.5853	0.446
152.9574	0.434	482.7719	0.448
154.5507	0.436	479.5853	0.45
160.924	0.436	487.5518	0.45
162.5173	0.442	500.2983	0.456
164.1106	0.448	525.7912	0.462

162.5173	0.448	519.418	0.462
164.1106	0.454	530.5711	0.47
165.7039	0.456	533.7577	0.47
170.4838	0.456	543.3176	0.472
176.857	0.458	552.8774	0.476
180.0436	0.466	559.2506	0.482
181.6369	0.466	573.5904	0.482
186.4169	0.466	568.8104	0.484
192.7901	0.468	568.8104	0.486
194.3834	0.47	576.777	0.488
202.3499	0.472	583.1502	0.488
207.1299	0.482	600.6766	0.498
208.7232	0.49	632.5427	0.508
213.5031	0.496	638.916	0.512
218.283	0.498	651.6624	0.516
221.4696	0.5	656.4423	0.518
223.0629	0.504	670.782	0.522
227.8428	0.506	669.1888	0.526
235.8094	0.506	681.9352	0.526
242.1826	0.51	677.1553	0.528
246.9625	0.514	688.3085	0.532
251.7424	0.52	709.0214	0.538
254.929	0.526	720.1746	0.544
258.1157	0.532	744.0742	0.552
264.4889	0.532	748.8541	0.552
266.0822	0.538	760.0073	0.558
269.2688	0.538	764.7872	0.56
274.0487	0.54	772.7537	0.562
275.642	0.546	782.3135	0.566
283.6086	0.546	785.5001	0.568
291.5751	0.55	803.0265	0.572
297.9483	0.556	814.1797	0.578
302.7282	0.56	825.3328	0.582
305.9149	0.562	830.1127	0.584
309.1015	0.568	849.2324	0.59
312.2881	0.574	866.7588	0.598
315.4747	0.576	869.9454	0.598
320.2546	0.578	879.5052	0.604
323.4412	0.58	889.0651	0.604
331.4078	0.586	901.8115	0.61

863.5721	0.902	901.8115	0.612
873.132	0.902	909.7781	0.614
879.5052	0.908	940.0509	0.626
893.845	0.91	1030.869	0.666
901.8115	0.918	1057.956	0.674
940.0509	0.932	1053.176	0.676
962.3572	0.944	1062.735	0.678
1013.343	0.968	1085.042	0.684
1075.482	0.992	1093.008	0.692
1104.161	1.008	1112.128	0.698
1139.214	1.022	1124.874	0.702
1172.674	1.036	1147.181	0.708
1212.506	1.046	1156.741	0.712
1247.559	1.064	1159.927	0.718
1338.378	1.098	1363.87	0.798
1430.789	1.138	1360.684	0.8
2264.089	1.388	1397.33	0.81
2324.634	1.402	1397.33	0.812
2366.06	1.412	1445.129	0.824
2456.879	1.436	1531.168	0.848
2503.085	1.448	1590.12	0.862
2503.085	1.45	1658.632	0.878
2517.424	1.452	1715.991	0.892
2517.424	1.452	1813.183	0.91
2461.659	1.458	1808.403	0.912
1416.45	1.466	1838.676	0.918
613.423	1.47	1841.862	0.918
200.7566	1.472	1880.102	0.928
197.57	1.504	1929.494	0.94
183.2303	1.518	1970.92	0.95
183.2303	1.518	2047.399	0.972
181.6369	1.52	2130.251	0.996
178.4503	1.52	2176.457	1.012
181.6369	1.522	2232.222	1.026
184.8236	1.522	2280.022	1.04
189.6035	1.524	2323.041	1.05
186.4169	1.524	2367.654	1.068
189.6035	1.526	2464.845	1.102
192.7901	1.526	2555.664	1.14
194.3834	1.528	35.05275	1.18

191.1968	1.528	31.86613	1.18
191.1968	1.53	43.01928	1.182
189.6035	1.53	39.83266	1.182



Hubungan Tegangan-Regangan Beton OPC dengan Prosentase ALWA berbahan
Styrofoam 0%

Eksperimen				Teoritis		
ε_c	f_c	f_c	f'_{ca}	ε_c	ε'_{ca}	n
0.00000	0.00	0.00	43.05	0.00000	0.00136	19.38
0.00014	4.71	6.69	43.05	0.00014	0.00136	19.38
0.00029	9.75	11.71	43.05	0.00029	0.00136	19.38
0.00041	13.68	11.71	43.05	0.00041	0.00136	19.38
0.00064	21.55	19.37	43.05	0.00064	0.00136	19.38
0.00067	22.31	21.75	43.05	0.00067	0.00136	19.38
0.00082	27.40	25.09	43.05	0.00082	0.00136	19.38
0.00110	36.75	36.77	43.05	0.00110	0.00136	19.38
0.00115	38.47	39.95	43.05	0.00115	0.00136	19.38
0.00136	43.05	43.05	43.05	0.00136	0.00136	19.38
0.00152	33.96	36.32	43.05	0.00152	0.00136	19.38
0.00153	33.33	34.05	43.05	0.00153	0.00136	19.38
0.00155	30.28	22.94	43.05	0.00155	0.00136	19.38
0.00156	28.75	21.51	43.05	0.00156	0.00136	19.38
0.00157	27.19	16.13	43.05	0.00157	0.00136	19.38
0.00161	22.19	13.77	43.05	0.00161	0.00136	19.38
0.00170	10.26	10.69	43.05	0.00170	0.00136	19.38
0.00191	1.57	4.28	43.05	0.00191	0.00136	19.38

Hubungan Tegangan-Regangan Beton PPC dengan Prosentase ALWA berbahan
Styrofoam 0%

Eksperimen				Teoritis		
ϵ_c	f_c	f_c	f'_{ca}	ϵ_c	ϵ'_{ca}	n
0.00000	0.00	0.00	28.65	0.00000	0.00118	28.72
0.00012	3.04	3.04	28.65	0.00012	0.00118	28.72
0.00025	6.29	6.29	28.65	0.00025	0.00118	28.72
0.00035	8.71	8.71	28.65	0.00035	0.00118	28.72
0.00053	13.40	13.40	28.65	0.00053	0.00118	28.72
0.00058	14.59	14.59	28.65	0.00058	0.00118	28.72
0.00072	18.04	18.04	28.65	0.00072	0.00118	28.72
0.00097	24.28	24.28	28.65	0.00097	0.00118	28.72
0.00102	25.70	25.70	28.65	0.00102	0.00118	28.72
0.00118	28.65	28.65	28.65	0.00118	0.00118	28.72
0.00124	27.17	27.17	28.65	0.00124	0.00118	28.72
0.00125	26.50	26.50	28.65	0.00125	0.00118	28.72
0.00127	24.44	24.44	28.65	0.00127	0.00118	28.72
0.00127	24.40	24.40	28.65	0.00127	0.00118	28.72
0.00127	24.40	24.40	28.65	0.00127	0.00118	28.72
0.00128	24.08	24.08	28.65	0.00128	0.00118	28.72
0.00134	13.79	13.79	28.65	0.00134	0.00118	28.72
0.00148	1.46	1.46	28.65	0.00148	0.00118	28.72

Hubungan Tegangan-Regangan Beton OPC dengan Prosentase ALWA berbahan
Styrofoam 15%

Eksperimen				Teoritis		
ε_c	f_c	f_c	f'_{ca}	ε_c	ε'_{ca}	n
0.00000	0.00	0.00	28.06	0.00000	0.00118	7.93
0.00020	2.81	5.76	28.06	0.00020	0.00118	7.93
0.00033	5.61	9.71	28.06	0.00033	0.00118	7.93
0.00045	8.42	13.03	28.06	0.00045	0.00118	7.93
0.00059	12.62	17.10	28.06	0.00059	0.00118	7.93
0.00063	14.03	18.14	28.06	0.00063	0.00118	7.93
0.00079	18.24	21.99	28.06	0.00079	0.00118	7.93
0.00098	23.85	26.22	28.06	0.00098	0.00118	7.93
0.00104	25.25	27.04	28.06	0.00104	0.00118	7.93
0.00118	28.06	28.06	28.06	0.00118	0.00118	7.93
0.00136	25.25	25.45	28.06	0.00136	0.00118	7.93
0.00145	23.85	22.63	28.06	0.00145	0.00118	7.93
0.00162	18.24	15.67	28.06	0.00162	0.00118	7.93
0.00166	14.03	13.97	28.06	0.00166	0.00118	7.93
0.00168	12.62	13.30	28.06	0.00168	0.00118	7.93
0.00195	8.42	6.02	28.06	0.00195	0.00118	7.93
0.00215	5.61	3.23	28.06	0.00215	0.00118	7.93
0.00257	2.81	0.97	28.06	0.00257	0.00118	7.93

Hubungan Tegangan-Regangan Beton PPC dengan Prosentase ALWA berbahan
Styrofoam 15%

Eksperimen				Teoritis		
ϵ_c	f_c	f_c	f'_{ca}	ϵ_c	ϵ'_{ca}	n
0.00000	0.00	0.00	23.10	0.00000	0.00112	9.46
0.00017	3.85	3.85	23.10	0.00017	0.00112	9.46
0.00029	6.56	6.56	23.10	0.00029	0.00112	9.46
0.00039	8.86	8.86	23.10	0.00039	0.00112	9.46
0.00052	12.06	12.06	23.10	0.00052	0.00112	9.46
0.00058	13.32	13.32	23.10	0.00058	0.00112	9.46
0.00073	16.78	16.78	23.10	0.00073	0.00112	9.46
0.00094	21.22	21.22	23.10	0.00094	0.00112	9.46
0.00099	22.04	22.04	23.10	0.00099	0.00112	9.46
0.00112	23.10	23.10	23.10	0.00112	0.00112	9.46
0.00120	22.61	22.61	23.10	0.00120	0.00112	9.46
0.00121	22.42	22.42	23.10	0.00121	0.00112	9.46
0.00129	20.52	20.52	23.10	0.00129	0.00112	9.46
0.00139	17.04	17.04	23.10	0.00139	0.00112	9.46
0.00145	14.38	14.38	23.10	0.00145	0.00112	9.46
0.00166	6.73	6.73	23.10	0.00166	0.00112	9.46
0.00214	0.92	0.92	23.10	0.00214	0.00112	9.46
0.00251	0.24	0.24	23.10	0.00251	0.00112	9.46

Hubungan Tegangan-Regangan Beton OPC dengan Prosentase ALWA berbahan
Styrofoam 50%

Eksperimen				Teoritis		
ϵ_c	f_c	f_c	f'_{ca}	ϵ_c	ϵ'_{ca}	n
0.00000	0.00	0.00	19.23	0.00000	0.00101	4.18
0.00017	1.92	4.33	19.23	0.00017	0.00101	4.18
0.00030	3.85	7.52	19.23	0.00030	0.00101	4.18
0.00040	5.77	9.98	19.23	0.00040	0.00101	4.18
0.00052	8.65	12.64	19.23	0.00052	0.00101	4.18
0.00056	9.61	13.63	19.23	0.00056	0.00101	4.18
0.00068	12.50	16.09	19.23	0.00068	0.00101	4.18
0.00085	16.34	18.42	19.23	0.00085	0.00101	4.18
0.00090	17.30	18.82	19.23	0.00090	0.00101	4.18
0.00101	19.23	19.23	19.23	0.00101	0.00101	4.18
0.00120	17.30	18.25	19.23	0.00120	0.00101	4.18
0.00127	16.34	17.50	19.23	0.00127	0.00101	4.18
0.00151	12.50	14.07	19.23	0.00151	0.00101	4.18
0.00171	9.61	11.21	19.23	0.00171	0.00101	4.18
0.00185	8.65	9.46	19.23	0.00185	0.00101	4.18
0.00234	5.77	5.08	19.23	0.00234	0.00101	4.18
0.00282	3.85	2.97	19.23	0.00282	0.00101	4.18
0.00303	1.92	2.38	19.23	0.00303	0.00101	4.18

Hubungan Tegangan-Regangan Beton PPC dengan Prosentase ALWA berbahan
Styrofoam 50%

Eksperimen				Teoritis		
ϵ_c	f_c	f_c	f'_{ca}	ϵ_c	ϵ'_{ca}	n
0.00000	0.00	0.00	19.02	0.00000	0.00100	4.22
0.00021	1.90	5.26	19.02	0.00021	0.00100	4.22
0.00035	3.80	8.80	19.02	0.00035	0.00100	4.22
0.00044	5.71	10.97	19.02	0.00044	0.00100	4.22
0.00054	8.56	13.15	19.02	0.00054	0.00100	4.22
0.00057	9.51	13.90	19.02	0.00057	0.00100	4.22
0.00066	12.37	15.73	19.02	0.00066	0.00100	4.22
0.00084	16.17	18.23	19.02	0.00084	0.00100	4.22
0.00089	17.12	18.67	19.02	0.00089	0.00100	4.22
0.00100	19.02	19.02	19.02	0.00100	0.00100	4.22
0.00119	17.12	17.96	19.02	0.00119	0.00100	4.22
0.00122	16.17	17.64	19.02	0.00122	0.00100	4.22
0.00141	12.37	15.00	19.02	0.00141	0.00100	4.22
0.00163	9.51	11.79	19.02	0.00163	0.00100	4.22
0.00172	8.56	10.54	19.02	0.00172	0.00100	4.22
0.00216	5.71	5.92	19.02	0.00216	0.00100	4.22
0.00293	3.80	2.40	19.02	0.00293	0.00100	4.22

Hubungan Tegangan-Regangan Beton OPC dengan Prosentase ALWA berbahan
Styrofoam 100%

Eksperimen				Teoritis		
ϵ_c	f_c	f_c	f'_{ca}	ϵ_c	ϵ'_{ca}	n
0.00000	0.00	0.00	13.61	0.00000	0.00090	3.00
0.00022	1.36	4.94	13.61	0.00022	0.00090	3.00
0.00034	2.72	7.56	13.61	0.00034	0.00090	3.00
0.00043	4.08	9.24	13.61	0.00043	0.00090	3.00
0.00053	6.13	10.92	13.61	0.00053	0.00090	3.00
0.00056	6.81	11.36	13.61	0.00056	0.00090	3.00
0.00065	8.85	12.36	13.61	0.00065	0.00090	3.00
0.00075	11.57	13.21	13.61	0.00075	0.00090	3.00
0.00078	12.25	13.37	13.61	0.00078	0.00090	3.00
0.00090	13.61	13.61	13.61	0.00090	0.00090	3.00
0.00109	12.25	13.12	13.61	0.00109	0.00090	3.00
0.00120	11.57	12.49	13.61	0.00120	0.00090	3.00
0.00168	8.85	8.94	13.61	0.00168	0.00090	3.00
0.00197	6.81	7.18	13.61	0.00197	0.00090	3.00
0.00210	6.13	6.49	13.61	0.00210	0.00090	3.00
0.00278	4.08	4.02	13.61	0.00278	0.00090	3.00
0.00329	2.72	2.94	13.61	0.00329	0.00090	3.00
0.00358	1.36	2.51	13.61	0.00358	0.00090	3.00

Hubungan Tegangan-Regangan Beton PPC dengan Prosentase ALWA berbahan
Styrofoam 100%

Eksperimen				Teoritis		
ϵ_c	f_c	f_c	f'_{ca}	ϵ_c	ϵ'_{ca}	n
0.00000	0.00	0.00	12.52	0.00000	0.00098	3.20
0.00014	1.25	2.55	12.52	0.00014	0.00098	3.20
0.00027	2.50	5.01	12.52	0.00027	0.00098	3.20
0.00037	3.76	6.78	12.52	0.00037	0.00098	3.20
0.00051	5.63	8.95	12.52	0.00051	0.00098	3.20
0.00054	6.26	9.37	12.52	0.00054	0.00098	3.20
0.00063	8.14	10.52	12.52	0.00063	0.00098	3.20
0.00075	10.64	11.72	12.52	0.00075	0.00098	3.20
0.00080	11.27	12.02	12.52	0.00080	0.00098	3.20
0.00098	12.52	12.52	12.52	0.00098	0.00098	3.20
0.00116	11.27	12.11	12.52	0.00116	0.00098	3.20
0.00119	10.64	11.96	12.52	0.00119	0.00098	3.20
0.00146	8.14	10.28	12.52	0.00146	0.00098	3.20
0.00177	6.26	8.14	12.52	0.00177	0.00098	3.20
0.00188	5.63	7.49	12.52	0.00188	0.00098	3.20
0.00266	3.76	4.08	12.52	0.00266	0.00098	3.20
0.00336	2.50	2.55	12.52	0.00336	0.00098	3.20

MIX DESIGN					
No	Uraian	Tabel/Grafik	Satuan	Nilai	Keterangan
1	Kuat Tekan Karakteristik	Ditetapkan	Kg/cm ²	350	Tipe 1 (OPC dan PPC) Batu Pecah paserpan Pasir Lumajang
2	Standar Deviasi	Tabel 1	Kg/cm ²	50	
3	Nilai Tambah (Margin)	1,64*(2)	Kg/cm ²	82	
4	Kekuatan Tekan Rata-Rata	(1)+(3)	Kg/cm ²	432	
5	Jenis Semen	Ditetapkan	Kg	40	
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan			
7	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan			
8	FAS	Ditetapkan		0.3	
9	Slump	Tabel 4	mm	30-60	
10	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	mm	20	
11	Kadar Air Bebas	Tabel 3	kg/m ³	210	Kebutuhan Bahan untuk Pembuatan 1 M3 Beton yg Direncanakan
12	Kadar Semen	(11)/(8)	kg/m ³	700	
13	Kadar Semen Maks	Ditetapkan	kg/m ³		
14	Kadar Semen Min	Tabel 2	kg/m ³	275	
15	FAS yg Disesuaikan	(11)/(Kadar Semen yg Dipakai)		0.76	
16	Gradasi Agregat Halus	Grafik 2a-2d		Zona 2	
17	Persen Agregat Halus (FM)	Grafik 3a-3c	%	0.37	
18	BJ Agregat Gabungan	(FM Pasir*BJ Pasir)+(FM Kerikil*BJ Kerikil)	kg/m ³	2.67	
19	BJ Beton	Grafik Gb 4	kg/m ³	2387.50	
20	Kadar Agregat Gabungan	(19)-(Kadar Semen dipakai)-(11)	kg/m ³	1477.50	
21	Kadar Agregat Halus	(20)*(17)	kg/m ³	546.68	Perbandingan Mix Design
22	Kadar Agregat Kasar	(20)-(21)	kg/m ³	930.83	
23	a. Semen	12	kg/m ³	700	
24	b. Air	11	kg/m ³	210	
25	c. Agregat Halus	21	kg/m ³	546.68	
26	d. Agregat Kasar	22	kg/m ³	930.83	
	Semen			1	Perbandingan Mix Design
	Air			0.3	
	Agregat Halus (Pasir)			0.78	
	Agregat Kasar (Batu Pecah)			1.33	

BIODATA PENULIS



Fedya Diajeng Aryani, penulis dilahirkan di Semarang pada tanggal 20 November 1993, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dharma Wanita Rensing, SDN 2 Rensing, SMPN 1 Selong, dan SMAN 1 Selong. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan program Sarjana (S1) di Jurusan Teknik Sipil ITS pada tahun 2012 melalui jalur mandiri. Gelar Sarjana Teknik (S.T) diperoleh penulis pada tahun 2016 dengan judul Tugas Akhir “*Desain Modifikasi Struktur Gedung Bupati Lombok Timur Menggunakan Balok Prategang Monolit*”. Pada tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang pascasarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan mengambil program studi teknik sipil khususnya bidang keahlian struktur dan mendapatkan beasiswa *fresh graduate*.

Email : fedyadiajeng@gmail.com